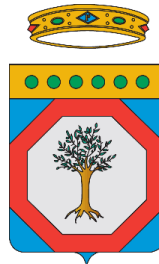




COMUNE DI ALTAMURA



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. Angelo Volpe*

| 3        |      |          |           |          |          |
|----------|------|----------|-----------|----------|----------|
| 2        |      |          |           |          |          |
| 1        |      |          |           |          |          |
| 0        |      |          |           |          |          |
| Revision | Date | Comments | Elaborate | Verified | Approved |

Client:

***SCS 10 SRL***

Project:

***COSTRUZIONE ED ESERCIZIO 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.***

Documents:

*Relazione geotecnica*

Brindisi, 20/07/2022

Ing. Volpe Angelo



|                      |   |   |                |                    |
|----------------------|---|---|----------------|--------------------|
| <b>SCS 10 S.R.L.</b> | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b> | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b>   |                |                    |
|                      | Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe               | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 2 | Data<br>20/07/2022 |

## Indice

|   |    |
|---|----|
| 1. Premessa e scopo del presente studio .....                 | 11 |
| 2. Relazione geotecnica Aerogeneratore 1 .....                | 13 |
| Tabulati di stampa .....                                      | 33 |
| Archivi .....   | 33 |
| Stratigrafie .....  | 33 |
| Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: $H_{tot} = 10$ ) .....  | 33 |
| Opzioni verifica terreni .....                                | 33 |
| Suoli di posa fondazioni .....                                | 33 |
| 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 |
| Riassunto verifiche .....                                     | 36 |
| Verifiche terreno di fondazione .....                         | 36 |
| Coefficienti totali verifiche terreno di fondazione .....     | 36 |
| Verifiche totali terreno di fondazione .....                  | 36 |
| Conclusioni .....   | 36 |

|                      |   |   |                |                    |
|----------------------|---|---|----------------|--------------------|
| <b>SCS 10 S.R.L.</b> | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b> | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b>   |                |                    |
|                      | Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe               | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 3 | Data<br>20/07/2022 |

|  |    |
|--|----|
| 3. Relazione geotecnica Aerogeneratore 2.....                | 38 |
| Tabulati 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 |
| Conclusioni .....  | 62 |
| 4. Relazione geotecnica Aerogeneratore 3.....                | 63 |
| Tabulati di stampa .....                                     | 83 |
| Archivi .....  | 83 |

|                      |   |   |                |                    |
|----------------------|---|---|----------------|--------------------|
| <b>SCS 10 S.R.L.</b> | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b> | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b>   |                |                    |
|                      | Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe               | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 4 | Data<br>20/07/2022 |

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

|                      |   |   |                |                    |
|----------------------|---|---|----------------|--------------------|
| <b>SCS 10 S.R.L.</b> | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b> | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b>   |                |                    |
|                      | Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe               | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 5 | Data<br>20/07/2022 |

|   |            |
|---|------------|
| <i>Suoli di posa fondazioni.....</i>                                | <i>109</i> |
| <i>Verifiche fondazioni dirette.....</i>                            | <i>109</i> |
| <i>Rettangoli di fondazione.....</i>                                | <i>109</i> |
| <i>Inviluppo forze su rettangoli di fondazione.....</i>             | <i>109</i> |
| <i>Verifiche Cedimenti Edometrici.....</i>                          | <i>109</i> |
| <i>Verifiche Liquefazione.....</i>                                  | <i>109</i> |
| <i>Parametri strati calcolo portanza.....</i>                       | <i>110</i> |
| <i>Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno.....</i>                       | <i>110</i> |
| <i>Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno per verifica portanza.....</i> | <i>110</i> |
| <i>Piano 0 Plinto 1 Portanza Drenata.....</i>                       | <i>110</i> |
| <i>Piano 0 Plinto 1 Scorrimento.....</i>                            | <i>111</i> |
| <i>Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico.....</i>           | <i>111</i> |
| <i>Riassunto verifiche.....</i>                                     | <i>111</i> |
| <i>Verifiche terreno di fondazione.....</i>                         | <i>111</i> |
| <i>Coefficienti totali verifiche terreno di fondazione.....</i>     | <i>111</i> |
| <i>Verifiche totali terreno di fondazione.....</i>                  | <i>112</i> |
| <i>Conclusioni.....</i>   | <i>112</i> |
| <i>6. Relazione geotecnica Aerogeneratore 5.....</i>                | <i>113</i> |
| <i>Tabulati di stampa.....</i>                                      | <i>133</i> |
| <i>Archivi.....</i>   | <i>133</i> |
| <i>Stratigrafie.....</i>  | <i>133</i> |
| <i>Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot =9.4).....</i>        | <i>133</i> |
| <i>Opzioni verifica terreni.....</i>                                | <i>134</i> |
| <i>Suoli di posa fondazioni.....</i>                                | <i>134</i> |
| <i>Verifiche fondazioni dirette.....</i>                            | <i>134</i> |
| <i>Rettangoli di fondazione.....</i>                                | <i>134</i> |

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

|  |     |
|--|-----|
| <i>Inviluppo forze su rettangoli di fondazione</i> .....             | 134 |
| <i>Verifiche Cedimenti Edometrici</i> .....                          | 134 |
| <i>Verifiche Liquefazione</i> .....                                  | 134 |
| <i>Parametri strati calcolo portanza</i> .....                       | 135 |
| <i>Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno</i> .....                       | 135 |
| <i>Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno per verifica portanza</i> ..... | 135 |
| <i>Piano 0 Plinto 1 Portanza Drenata</i> .....                       | 135 |
| <i>Piano 0 Plinto 1 Scorrimento</i> .....                            | 136 |
| <i>Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico</i> .....           | 136 |
| <i>Riassunto verifiche</i> .....                                     | 136 |
| <i>Verifiche terreno di fondazione</i> .....                         | 136 |
| <i>Coefficienti totali verifiche terreno di fondazione</i> .....     | 136 |
| <i>Verifiche totali terreno di fondazione</i> .....                  | 136 |
| <i>Conclusioni</i> .....   | 137 |
| <i>7. Relazione geotecnica Aerogeneratore 6</i> .....                | 138 |
| <i>Tabulati di stampa</i> .....                                      | 158 |
| <i>Archivi</i> .....   | 158 |
| <i>Stratigrafie</i> .....  | 158 |
| <i>Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot =10)</i> .....         | 158 |
| <i>Opzioni verifica terreni</i> .....                                | 159 |
| <i>Suoli di posa fondazioni</i> .....                                | 159 |
| <i>Verifiche fondazioni dirette</i> .....                            | 159 |
| <i>Rettangoli di fondazione</i> .....                                | 159 |
| <i>Inviluppo forze su rettangoli di fondazione</i> .....             | 159 |
| <i>Verifiche Cedimenti Edometrici</i> .....                          | 159 |
| <i>Verifiche Liquefazione</i> .....                                  | 159 |

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

|   |            |
|---|------------|
| <i>Parametri strati calcolo portanza .....</i>                      | <i>160</i> |
| <i>Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno.....</i>                       | <i>160</i> |
| <i>Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno per verifica portanza.....</i> | <i>160</i> |
| <i>Piano 0 Plinto 1 Portanza Drenata .....</i>                      | <i>160</i> |
| <i>Piano 0 Plinto 1 Scorrimento .....</i>                           | <i>161</i> |
| <i>Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico.....</i>           | <i>161</i> |
| <i>Riassunto verifiche .....</i>                                    | <i>161</i> |
| <i>Verifiche terreno di fondazione .....</i>                        | <i>161</i> |
| <i>Coefficienti totali verifiche terreno di fondazione.....</i>     | <i>161</i> |
| <i>Verifiche totali terreno di fondazione.....</i>                  | <i>162</i> |
| <i>Conclusioni .....</i>  | <i>162</i> |
| <i>8. Relazione geotecnica Aerogeneratore 7.....</i>                | <i>163</i> |
| <i>Tabulati di stampa .....</i>                                     | <i>183</i> |
| <i>Archivi .....</i>  | <i>183</i> |
| <i>Stratigrafie.....</i>  | <i>183</i> |
| <i>Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot =10) .....</i>        | <i>183</i> |
| <i>Opzioni verifica terreni.....</i>                                | <i>184</i> |
| <i>Suoli di posa fondazioni.....</i>                                | <i>184</i> |
| <i>Verifiche fondazioni dirette.....</i>                            | <i>184</i> |
| <i>Rettangoli di fondazione .....</i>                               | <i>184</i> |
| <i>Inviluppo forze su rettangoli di fondazione .....</i>            | <i>184</i> |
| <i>Verifiche Cedimenti Edometrici .....</i>                         | <i>184</i> |
| <i>Verifiche Liquefazione.....</i>                                  | <i>184</i> |
| <i>Parametri strati calcolo portanza .....</i>                      | <i>185</i> |
| <i>Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno.....</i>                       | <i>185</i> |
| <i>Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno per verifica portanza.....</i> | <i>185</i> |



|                      |   |   |                |                    |
|----------------------|---|---|----------------|--------------------|
| <b>SCS 10 S.R.L.</b> | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b> | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b>   |                |                    |
|                      | Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe               | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 8 | Data<br>20/07/2022 |

|  |            |
|--|------------|
| <i>Piano 0 Plinto 1 Portanza Drenata .....</i>                       | <i>185</i> |
| <i>Piano 0 Plinto 1 Scorrimento .....</i>                            | <i>186</i> |
| <i>Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico .....</i>           | <i>186</i> |
| <i>Riassunto verifiche .....</i>                                     | <i>186</i> |
| <i>Verifiche terreno di fondazione .....</i>                         | <i>186</i> |
| <i>Coefficienti totali verifiche terreno di fondazione .....</i>     | <i>186</i> |
| <i>Verifiche totali terreno di fondazione .....</i>                  | <i>187</i> |
| <i>Conclusioni .....</i>   | <i>187</i> |
| <i>9. Relazione geotecnica Aerogeneratore 8 .....</i>                | <i>188</i> |
| <i>Tabulati di stampa .....</i>                                      | <i>208</i> |
| <i>Archivi .....</i>   | <i>208</i> |
| <i>Stratigrafie .....</i>  | <i>208</i> |
| <i>Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot =11) .....</i>         | <i>208</i> |
| <i>Opzioni verifica terreni .....</i>                                | <i>209</i> |
| <i>Suoli di posa fondazioni .....</i>                                | <i>209</i> |
| <i>Verifiche fondazioni dirette .....</i>                            | <i>209</i> |
| <i>Rettangoli di fondazione .....</i>                                | <i>209</i> |
| <i>Inviluppo forze su rettangoli di fondazione .....</i>             | <i>209</i> |
| <i>Verifiche Cedimenti Edometrici .....</i>                          | <i>209</i> |
| <i>Verifiche Liquefazione .....</i>                                  | <i>209</i> |
| <i>Parametri strati calcolo portanza .....</i>                       | <i>210</i> |
| <i>Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno .....</i>                       | <i>210</i> |
| <i>Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno per verifica portanza .....</i> | <i>210</i> |
| <i>Piano 0 Plinto 1 Portanza Drenata .....</i>                       | <i>210</i> |
| <i>Piano 0 Plinto 1 Scorrimento .....</i>                            | <i>211</i> |
| <i>Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico .....</i>           | <i>211</i> |

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

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

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

|  |            |
|--|------------|
| <i>Verifiche totali terreno di fondazione.....</i> | <i>237</i> |
| <i>Conclusioni .....</i>                           | <i>237</i> |
| <i>11. Conclusioni .....</i>                       | <i>238</i> |

|                      |   |   |                 |                    |
|----------------------|---|---|-----------------|--------------------|
| <b>SCS 10 S.R.L.</b> | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b> | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b>   |                 |                    |
|                      | Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe               | Titolo sintetico:<br><b>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</b> | Foglio<br>n. 11 | Data<br>20/07/2022 |

## 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

| WTG | COMUNE             | Estremi catastali |        | Coordinate WGS84 UTM 33N |         |
|-----|--------------------|-------------------|--------|--------------------------|---------|
|     |                    | Fg.               | P.IIIa | 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 |
| A08 | Santeramo in colle | 62                | 17     | 641046                   | 4516067 |
| A09 | Altamura           | 231               | 203    | 641147                   | 4516715 |

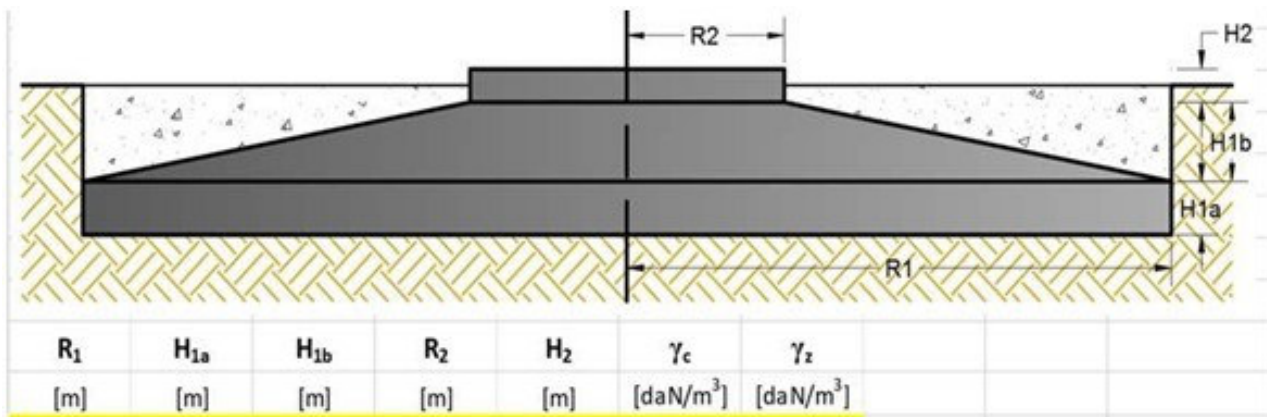
La presente relazione mira allo studio del comportamento del terreno a seguito dell'installazione degli aerogeneratori così come posizionati in fase progettuale.

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).

|                      |   |   |                 |                    |
|----------------------|---|---|-----------------|--------------------|
| <b>SCS 10 S.R.L.</b> | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b> | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b>   |                 |                    |
|                      | Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe               | Titolo sintetico:<br><b>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</b> | Foglio<br>n. 12 | Data<br>20/07/2022 |

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 ( $H_{1a}=1.8m-H_{1b}=1,20m-H_2=0,50m-R_1=10m-R_2=2,7m$ )

|                     |  |  |                 |                    |
|---------------------|--|--|-----------------|--------------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b> | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b><br><br><b>- Aerogeneratore 1 -</b> | Codice documento:<br><br><b>R_15_EO_SCS10</b>  |                 |                    |
|                     | Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe  | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>         IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>         DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>         EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>         IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>         COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>         DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>         RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>         RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>         DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>         NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>         SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 13 | Data<br>20/07/2022 |

## 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<sup>®</sup>. 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.

|                     |  |  |                 |                    |
|---------------------|--|--|-----------------|--------------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b> | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b><br><br><b>- Aerogeneratore 1 -</b> | Codice documento:<br><br><b>R_15_EO_SCS10</b>  |                 |                    |
|                     | Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe  | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>         IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>         DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>         EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>         IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>         COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>         DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>         RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>         RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>         DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>         NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>         SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 14 | Data<br>20/07/2022 |

## 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 CSLP 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

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

$$\gamma_{G1} = 1,3; \quad \gamma_{G2} = 1,5; \quad \gamma_{Qi} = 1,5; \quad \gamma_R = 2,3; \quad \gamma_M = 1,0;$$

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:  $A' = B' \cdot 1m$ );

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

$D$  = profondità del piano di posa;

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

$V$  = carico verticale;

$H$  = carico orizzontale;

$\theta$  = angolo che  $H$  forma con la direzione  $L'$ ;

$R$  = Resistenza totale fondazione;

$c_u$  = Resistenza a taglio non drenata;

$c'$  = Coesione intercetta in termini di tensioni efficaci;

$\phi'$  = Angolo di resistenza a taglio in termini di tensioni efficaci;



|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 1 -  | Foglio<br>n. 16                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

$\phi'_{cv}$  = 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:

$$\sigma_c = (2 + \pi)$$

$$\sigma_q = q$$

$$s_c = 1 + 0,2 (B'/L')$$

$$i_c = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} [1 - H/(A'c_u)]^{0,5} \text{ con } H \leq A'c_u$$

$$d_c = 1 + 0,4 \text{ atg}(D/B')$$

dove il coefficiente di profondità  $d_c$  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 una 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:

$$R/A' = \sigma_c \cdot N_c \cdot d_c \cdot s_c \cdot i_c + \sigma_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot s_q \cdot i_q + \sigma_\gamma \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma$$

con:

$$\sigma_c = c'$$

$$\sigma_q = q'$$

$$\sigma_\gamma = 0,5 \gamma' B'$$

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

e con i valori di progetto dei fattori adimensionali per

- la resistenza portante:

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

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

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

- la forma della fondazione:

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

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

$$s\gamma = 1 - 0,3(B'/L')$$

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

$$dq = 1 + 2 \operatorname{tg} \varphi' (1 - \sin \varphi')^2 \operatorname{atg}(D/B')$$

$$dc = dq - (1 - dq) / (Nc \cdot \operatorname{tg} \varphi')$$

$$d\gamma = 1$$

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

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

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

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

dove:

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

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

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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 1</b> -   | Foglio<br>n. 18                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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 fatta tenendo presente che il meccanismo di collasso drenato interessa una zona con profondità  $z = B \sin \psi \exp(\psi \operatorname{tg} \varphi')$  con  $\psi = 45^\circ + \varphi'/2$  ([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 §7.11.5.3.1 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  $\gamma_R$  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  $N\gamma$ , è tenuto in conto con l'introduzione di una forza orizzontale aggiuntiva  $H_k = k_{vk} \cdot V$ , 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 effettuata secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3) con i seguenti coefficienti parziali di sicurezza:

$$\gamma_{G1} = 1,0; \quad \gamma_{G2} = 1,0; \quad \gamma_{Qi} = 1,0; \quad \gamma_R = 1,1; \quad \gamma_M = 1,0$$

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:  $R_d = V \cdot \operatorname{tg} \varphi' \cdot c_v / \gamma_R$

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

con A = area della fondazione.

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 1 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 19      | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>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)

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

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 sub-orizzontale 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 ) :

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 1 -  | Foglio<br>n. 20                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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

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 =  $S \cdot ag = S_s \cdot S_t \cdot ag$  (NTC18§3.2.3.2) ;

$\sigma_f = \Delta\sigma_v + \sigma_{v0}$  = 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 rigidità della fondazione e modellando il suolo con un semispazio elastico.

$\sigma'_{v0}$  è la tensione geostatica efficace

$\sigma_{v0}$  è la tensione geostatica totale

g è l'accelerazione di gravità;

$rd = 1 - 0,00765 z$ , per  $z \leq 9.15$  m;

$rd = 1,174 - 0,00267 z$ , per  $9.15 \text{ m} < z \leq 23$  m;

z è la profondità in metri dal piano di campagna;

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

$$\text{dove: } CRR_{7,5} = (a + c \cdot x + e \cdot x^2 + g \cdot x^3) / (1 + b \cdot x + d \cdot x^2 + f \cdot x^3 + h \cdot x^4) ;$$

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) ;

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

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

$$C_N = (100\text{kPa}/\sigma'_{v0})^{1/2} \text{ con } 0,5 \leq C_N \leq 2;$$

$$C_P = 0,75 \text{ per } z \leq 3\text{m} \text{ e } C_P = 1 \text{ per } z > 3\text{m};$$

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

$\alpha$  e  $\beta$  dipendono dal contenuto di fino FC, con:

- $FC \leq 5\%$ :  $\alpha = 0,0$  ;  $\beta = 1,0$ ;
- $5\% < FC \leq 35\%$ :  $\alpha = \exp[1,76 - (190/FC^2)]$ ;  $\beta = 0,99 + FC^{1,5}/1000$ ;
- $35\% < FC$ :  $\alpha = 5,0$  ;  $\beta = 1,2$ ;

$C_M$  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:

$$C_M = (M/7,5)^{-3,3} \text{ per } M \leq 7,5 \text{ [Andrus e Stokoe. (1997)]}$$

$$C_M = (M/7,5)^{-6,47} \text{ per } M > 7,5$$

#### 4.4 Cedimenti

La verifica dei cedimenti è fatta con la disuguaglianza:

$$w \leq 50\text{mm}$$

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

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 1 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 22      | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>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

$$\Delta H_i = H_i [ RR \cdot \text{Log}(k_R) + CR \cdot \text{Log}(k_C) ]$$

con:

$$k_R = \min \{ \sigma'_p ; \sigma'_f \} / \sigma'_{v0}$$

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

$\sigma'_{v0}$  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.

$$\sigma'_f = \Delta \sigma_v + \sigma'_{v0}$$

$$\sigma'_p = \text{tensione di preconsolidazione} = OCR \cdot \sigma'_{v0}$$

dove:

OCR è il rapporto di preconsolidazione.

$H_i$  = spessore dello strato

RR = rapporto di ricomprensione

CR = rapporto di compressione

Per terreni normalconsolidati  $CR = 2,3 \cdot \sigma'_{v0} / E_{ed}$

Per terreni sovraconsolidati  $RR = 2,3 \cdot \sigma'_{v0} / E_{ed}$

dove  $E_{ed}$  è il modulo edometrico.

Il cedimento totale è calcolato sommando il cedimento di tutti gli strati in cui  $\Delta \sigma'_z > 0,10 \sigma'_{v0}$

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 1</b> -   | Foglio<br>n. 23                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

$$w = \sum \Delta H_i$$

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 :

$$w = f_s \cdot f_h \cdot f_t \cdot Z_1 \cdot I_c \cdot (\sigma_A/3 + \sigma_B)$$

dove:

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

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

$\sigma'_p$  = tensione di preconsolidazione al piano di posa della fondazione =  $OCR \cdot \sigma'_{v0}$

$Z_1 = B^{0.7}$  = 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

$I_c = 1,7/N_c^{1,4}$  = indice di compressibilità

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

con:

H = spessore dello strato comprimibile, se  $H < Z_1$

H =  $Z_1$ , se  $N_{SPT}$  è costante o cresce con la profondità



|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 1 -  | Foglio<br>n. 24                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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

e, per ogni strato:

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

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

inoltre:

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

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

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

$f_t = (1,3 + 0,2 \cdot \text{Log}(t/3))$  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

$\Delta w = |w_1 - w_2|$  = 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:  $\Delta w = w/2$ .

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 1 -  | Foglio<br>n. 25                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

## 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.

### 5.2 Carichi 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 :

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

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

Che in condizioni non drenate si trasforma nell'equazione

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

con:

$$N_c = 9;$$

$R_c = 1$  per argille non consistenti (indice di consistenza  $\geq 0,5$ ) ([2] §8.5.1.1 pag 377; [7] §3.1.2.1 pag.76)

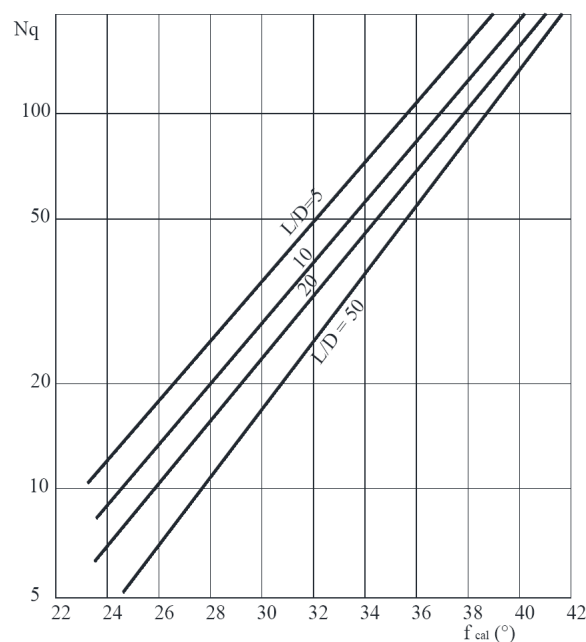
$R_c = (D + 0,5)/(2D) \leq 1$  per pali infissi in argille consistenti

$R_c = (D + 1)/(2D + 1) \leq 1$  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  $N_q$  si utilizzano le curve di Berezantsev et al 1961 ([8] §13.1 pag 377; [9] §2.4.2 pag.242)



valori di  $N_q$  secondo Berezantsev et al. (1961)

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

dove:

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

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

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  $\beta$ ".  
Con questo metodo:

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

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

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)

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

Valori di K e  $\mu$  per il metodo  $\beta$  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)

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

$$K = K_0 = (1 - \sin\phi^0) \cdot OCR^{0,5}$$

per pali trivellati in argille consistenti (indice di consistenza  $\geq 0,5$ )

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

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

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

dove  $c_u$  è la coesione non drenata.

I valori di  $\alpha$  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  $0,35 \leq \alpha \leq 0,7$

Pali battuti:  $\alpha = 1 - 0,011(c_u - 25)$  , con  $0,5 \leq \alpha \leq 1$

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) :

$$\alpha = \frac{0,5}{\left(\frac{c_u}{\sigma_{v0}}\right)^{0,25}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma_{v0}} \geq 1$$

$$\alpha = \frac{0,5}{\left(\frac{c_u}{\sigma_{v0}}\right)^{0,5}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma_{v0}} \leq 1$$

### 5.3 Carichi orizzontali

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

$$p_u = 9 c_u \quad \text{per profondità} \geq 3D,$$

$$p_u = c_u [2 + 7z/(3d)] \quad \text{per } z < 3D$$

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

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

dove:

$\sigma'_v$  = tensione litostatica verticale efficace

$$K_p = (1 + \tan \varphi') / (1 - \tan \varphi')$$

$\varphi'$  = 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.

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 1 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 30      | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>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  $H_u$ , 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 §7.6.2.1 punti (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

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

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.

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

$$k_v = 2\pi G / \zeta \quad [\text{N/m}^2] \quad ([8] \text{ §14.1.2 pag 424})$$

$$\text{dove } \zeta = \ln(2.5 \cdot (1-\nu) \cdot L / r_0) \quad ([8] \text{ §14.1.2 pag 425})$$

La costante di elasticità della punta del palo è

$$k_p = 2dE / (1-\nu^2) \quad [\text{N/m}] \quad ([8] \text{ §14.1.2 pag 424})$$

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

$$k_h = 1.67 \cdot E / d \quad \text{per terreni a grana fine sovraconsolidati.}$$

$$k_h = n_h \cdot z / d, \text{ dove } n_h = 0,5 \cdot 106 \quad [\text{N/m}^3] \quad \text{per terreni a grana fine normalconsolidati.} \quad ([8] \text{ §14.4.1 pag 479})$$

$$k_h = (A\gamma' / 1,35) \cdot z / d \quad \text{per terreni a grana grossa.}$$

dove:

$\gamma'$  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 sensibili (Dr = 75%)

Nelle formule di questo paragrafo: G = modulo di elasticità trasversale del terreno;  $\nu$  = coefficiente di Poisson del terreno; L = lunghezza del palo;  $r_0$  = 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.



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

## 5 Origine e caratteristiche del software di calcolo

Per l'analisi delle sollecitazioni e per le verifiche geotecniche si è utilizzato il software Jasp<sup>®</sup> versione 7.0.37 (64 bit), realizzato dall'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](http://www.ingegnerianet.it)

## 6 Affidabilità del software

Il sito internet [www.ingegnerianet.it](http://www.ingegnerianet.it) di distribuzione del software Jasp<sup>®</sup> 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, *Geotecnica*, 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

|                                     |   |  |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|--|----------------------|--------------------|-----------------|
| SCS10 S.R.L.                        | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   |  | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 1 -</b>   |  | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |  | Foglio<br>n. 33      | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
|                                     |   |  |                      |                    |                 |

## Tabulati di stampa

### Archivi

#### Stratigrafie

| N | Descrizione | falda [m] | Strati             |
|---|-------------|-----------|--------------------|
| 1 | Tipo A      | 80        | 3 strati: Htot =10 |

#### Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot =10)

| N | Descrizione                 | Classe | Tipo | Classe 2  | Potenza | $\gamma$ | $\phi'$ | $\phi'_{cv}$ | Dr  | IC  | c'    | cu    | v    | NSPT | OCR | $\Delta\sigma'_p$ | Eed   | CR | RR | CR/RR | FC  |
|---|-----------------------------|--------|------|-----------|---------|----------|---------|--------------|-----|-----|-------|-------|------|------|-----|-------------------|-------|----|----|-------|-----|
|   |                             |        |      |           |         | [m]      | [°]     | [°]          | [%] |     | [kPa] | [kPa] |      |      |     | [kPa]             | [MPa] |    |    |       | [%] |
| 1 | vegetale                    | limo   | fine | argillosa | 0       | 1        | 0       | 04.9E-324    | 0   | 0   | 0     | 0     | 0    | 0    | 1   | 0.001             |       |    |    | 0     | 0   |
| 2 | Deposito sabbioso li..<br>0 | limo   | fine | argillosa | 5.8     | 16.7     | 29.38   | 29.38        | 50  | 0.4 | 5     | 56    | 0.34 | 30   | 1   | 580               |       |    |    |       | 8   |
| 3 | Ghiaioso sabbioso de..<br>0 | limo   | fine | argillosa | 4.2     | 21.8     | 26      | 26           | 50  | 0.4 | 5     | 20.8  | 0.35 | 30   | 1   | 3505              |       |    |    |       | 8   |

#### Opzioni verifica terreni

| N | Descrizione | Portanza | Portanza  | Scorr.  | Scorr.    | Liquef. | cedimenti  | ced. Burl. | H compr.    | ced. Max | d/ $\Delta w$ | k Amplif. |
|---|-------------|----------|-----------|---------|-----------|---------|------------|------------|-------------|----------|---------------|-----------|
|   |             | Drenata  | Non Dren. | Drenato | Non Dren. |         | Edometrici | Burbidge   | Bur-Bur [m] | [m]      |               | Sisma     |
| 1 | Opz.A       | auto     | auto      | auto    | auto      | auto    | auto       | auto       | auto        | auto     | auto          | auto      |

#### Suoli di posa fondazioni

| N | Descrizione | kw Trasv./kw | kw Ass./kw | Stratigrafia | Opzioni Verifiche | Prof. di   | H sbanc.   | H riporto                  | y riporto |
|---|-------------|--------------|------------|--------------|-------------------|------------|------------|----------------------------|-----------|
|   |             |              |            | Terreno      | posa [m]          | later. [m] | Later. [m] | Later.[kN/m <sup>3</sup> ] |           |
| 1 | Posa A      | 0.5          | 0.1        | 1) Tipo A    | 1) Opz.A          | 1          | 0          | 0                          | 14        |

## Verifiche fondazioni dirette

#### Rettagoli di fondazione

| Fondazione | Dimensione  |           |      |      |                   | P.centro |     |     |      |
|------------|-------------|-----------|------|------|-------------------|----------|-----|-----|------|
| Piano      | Descrizione | Suolo Pos | B    | L    | Area calc.        | Rotaz    | x   | y   | z    |
|            |             |           | [m]  | [m]  | [m <sup>2</sup> ] | [°]      | [m] | [m] | [m]  |
| 0          | Plinto 1    | 1) Posa A | 21.8 | 21.8 | 475.24            | 0        | 0   | 0   | -3.4 |

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 1 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> | Foglio<br>n. 34      | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |

### Inviluppo forze su rettangoli di fondazione

| Piano | Rettangolo Fond. | Fam. Cmb.       | Min    |        |        |         |         |         | Max    |        |        |         |         |         |
|-------|------------------|-----------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
|       |                  |                 | 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    |
| 0     | Plinto 1         | 4) Quasi Perm.  | 0      | 0      | -26.6M | 10.2M   | 183M    | 159M    | 0      | 0      | -26.6M | 10.2M   | 183M    | 159M    |

**Suffissi:** f=10<sup>-15</sup>; p=10<sup>-12</sup>; n=10<sup>-9</sup>; μ=10<sup>-6</sup>; m=10<sup>-3</sup>; k=10<sup>3</sup>; M=10<sup>6</sup>; G=10<sup>9</sup>; T=10<sup>12</sup>; P=10<sup>15</sup> (Sistema Internazionale di misura)

### Verifiche Cedimenti Edometrici

| Piano      | Rettangolo | Fam | Cmb | q     | qN    | σ'v0  | WTot    | k.Wink.              |
|------------|------------|-----|-----|-------|-------|-------|---------|----------------------|
| fondazione |            |     |     | [Pa]  | [Pa]  | [Pa]  | [mm]    | [N/cm <sup>3</sup> ] |
| 0          | Plinto 1   | 4   | 1   | 55968 | 39268 | 16700 | 0.67033 | 83.493               |

### Verifiche Liquefazione

| 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

| Piano | Retto.Fond | Drenato | Strato Inferiore    |       |      |       |                     | Strato Superiore |       |      |       |         |
|-------|------------|---------|---------------------|-------|------|-------|---------------------|------------------|-------|------|-------|---------|
|       |            |         | fi[°]               | γ'    | c'   | cu    | potenza             | fi[°]            | γ'    | c'   | cu    | potenza |
|       |            |         | [N/m <sup>3</sup> ] | [Pa]  | [Pa] | [m]   | [N/m <sup>3</sup> ] | [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 di applicazione |     |       |        |       | 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<sup>-15</sup>; p=10<sup>-12</sup>; n=10<sup>-9</sup>; μ=10<sup>-6</sup>; m=10<sup>-3</sup>; k=10<sup>3</sup>; M=10<sup>6</sup>; G=10<sup>9</sup>; T=10<sup>12</sup>; P=10<sup>15</sup> (Sistema Internazionale di misura)

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 1 -  | Foglio<br>n. 35                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

### Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno per verifica 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   | 0   |
| 1   | 2   | 5.822 | 20.906 | 0.278 | 34.3M | 0   | 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   | 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

|     |     |       |        |           |        | Drenato   |  |  | 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

| z sup | spess. | σ'vo  | σ'p   | Δσv    | 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  |



|  |   |  |                             |                          |
|--|---|--|-----------------------------|--------------------------|
| <p><b>SCS10 S.R.L.</b></p>                   | <p>Tipo di documento:<br/> <b>Relazione geotecnica</b></p> <p><b>- Aerogeneratore 1 -</b></p>   | <p>Codice documento:<br/> <b>R_15_EO_SCS10</b></p> |                             |                          |
| <p>Studio Tecnico<br/> Ing. Angelo Volpe</p> | <p>Titolo sintetico:<br/> <b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/> IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/> DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/> EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/> IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/> COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/> DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/> RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/> RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/> DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/> NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/> SANTERAMO IN COLLE</b></p> | <p>Foglio<br/> n. 37</p>                           | <p>Data<br/> 20/07/2022</p> | <p>Revisione<br/> 00</p> |

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 2 -  | Foglio<br>n. 38                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

### 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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 2</b> -   | Foglio<br>n. 39                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

Le verifiche geotecniche sono effettuate congiuntamente alla modellazione ed alle verifiche strutturali con il software per calcolo strutturali Jasp<sup>®</sup>. 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.



|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 2</b> -   | Foglio<br>n. 40                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

•**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:

$$\gamma_{G1} = 1,3; \quad \gamma_{G2} = 1,5; \quad \gamma_{Qi} = 1,5; \quad \gamma_R = 2,3; \quad \gamma_M = 1,0;$$

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:  $A' = B' \cdot 1\text{m}$ );

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

$D$  = profondità del piano di posa;

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

$V$  = carico verticale;

$H$  = carico orizzontale;

$\theta$  = angolo che  $H$  forma con la direzione  $L'$ ;

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 2 -  | Foglio<br>n. 41                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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:

$$R/A' = \sigma_c \cdot cu \cdot sc \cdot ic + \sigma_q$$

dove:

$$\sigma_c = (2 + \pi)$$

$$\sigma_q = q$$

$$sc = 1 + 0,2 (B'/L')$$

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

$$dc = 1 + 0,4 \text{ atg}(D/B')$$

dove il coefficiente di profondità dc 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 una 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:

$$R/A' = \sigma_c \cdot N_c \cdot dc \cdot sc \cdot ic + \sigma_q \cdot N_q \cdot dq \cdot sq \cdot iq + \sigma_\gamma \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma$$

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 2 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 42      | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>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:

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi'} \tan^2(45^\circ + \varphi'/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \operatorname{ctg} \varphi'$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \operatorname{tg} \varphi'$$

- la forma della fondazione:

$$s_q = 1 + (B'/L') \operatorname{sen} \varphi'$$

$$s_c = (s_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1)$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3(B'/L')$$

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

$$d_q = 1 + 2 \operatorname{tg} \varphi' (1 - \sin \varphi')^2 \operatorname{atg}(D/B')$$

$$d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \cdot \operatorname{tg} \varphi')$$

$$d_\gamma = 1$$

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

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

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_c \cdot \tan \varphi');$$

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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 2 -  | Foglio<br>n. 43                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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 una zona con profondità  $z = B \sin\psi \exp(\psi \operatorname{tg}\phi')$  con  $\psi = 45^\circ + \phi'/2$  ([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 §7.11.5.3.1 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  $\gamma_R$  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  $N\gamma$* , è tenuto in conto con l'introduzione di una forza orizzontale aggiuntiva  $H_k = k_{vk} \cdot V$ , 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:

$$\gamma_{G1} = 1,0; \quad \gamma_{G2} = 1,0; \quad \gamma_{Qi} = 1,0; \quad \gamma_R = 1,1; \quad \gamma_M = 1,0$$

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:

$$H \leq R_d$$

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

Dove,

in condizioni drenate:  $R_d = V \cdot \text{tg } \varphi' \cdot c_v / \gamma_R$

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

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)

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

dove:

A è l'accelerazione massima attesa in g

$d_e$  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:

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 2 -  | Foglio<br>n. 45                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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 sub-orizzontale 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 =  $S \cdot ag = S_s \cdot S_t \cdot ag$  (NTC18§3.2.3.2) ;

$\sigma_f = \Delta\sigma_v + \sigma_{v0}$  = 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 rigidità della fondazione e modellando il suolo con un semispazio elastico.

$\sigma'_{v0}$  è la tensione geostatica efficace

$\sigma_{v0}$  è la tensione geostatica totale

g è l'accelerazione di gravità;

rd =  $1 - 0,00765 z$ , per  $z \leq 9.15$  m;

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 2 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 46      | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |

$rd = 1,174 - 0,00267 z$ , per  $9.15 \text{ m} < z \leq 23 \text{ m}$ ;

$z$  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) ;

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

$$C_N = (100\text{kPa}/\sigma'_{v0})^{1/2} \text{ con } 0,5 \leq C_N \leq 2;$$

$$C_P = 0,75 \text{ per } z \leq 3\text{m} \text{ e } C_P = 1 \text{ per } z > 3\text{m};$$

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

$\alpha$  e  $\beta$  dipendono dal contenuto di fino FC, con:

- $FC \leq 5\%$ :  $\alpha = 0,0$  ;  $\beta = 1,0$ ;
- $5\% < FC \leq 35\%$ :  $\alpha = \exp[1,76 - (190/FC^2)]$ ;  $\beta = 0,99 + FC^{1,5}/1000$ ;
- $35\% < FC$ :  $\alpha = 5,0$  ;  $\beta = 1,2$ ;

$C_M$  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:

$$C_M = (M/7,5)^{-3,3} \text{ per } M \leq 7,5 \text{ [Andrus e Stokoe. (1997)]}$$

$$C_M = (M/7,5)^{-6,47} \text{ per } M > 7,5$$

#### 4.4 Cedimenti

La verifica dei cedimenti è fatta con la disuguaglianza:

$$w \leq 50\text{mm}$$

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 2 -  | Foglio<br>n. 47                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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

$$\Delta H_i = H_i [ RR \cdot \text{Log}(k_R) + CR \cdot \text{Log}(k_C) ]$$

con:

$$k_R = \min \{ \sigma'_p ; \sigma'_f \} / \sigma'_{v0}$$

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

$\sigma'_{v0}$  è la tensione geostatica efficace

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

$$\sigma'_f = \Delta\sigma_v + \sigma'_{v0}$$

$$\sigma'_p = \text{tensione di preconsolidazione} = OCR \cdot \sigma'_{v0}$$

dove:

OCR è il rapporto di preconsolidazione.

$H_i$  = spessore dello strato

RR = rapporto di ricomprensione



|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 2 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 48      | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |

CR = rapporto di compressione

Per terreni normalconsolidati  $CR = 2,3 \cdot \sigma'_{v0} / E_{ed}$

Per terreni sovraconsolidati  $RR = 2,3 \cdot \sigma'_{v0} / E_{ed}$

dove  $E_{ed}$  è il modulo edometrico.

Il cedimento totale è calcolato sommando il cedimento di tutti gli strati in cui  $\Delta \sigma'_z > 0,10 \sigma'_{v0}$

$$w = \sum \Delta H_i$$

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 :

$$w = f_s \cdot f_h \cdot f_t \cdot Z_I \cdot I_c \cdot (\sigma_A/3 + \sigma_B)$$

dove:

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

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

$\sigma'_p$  = tensione di preconsolidazione al piano di posa della fondazione =  $OCR \cdot \sigma'_{v0}$

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

B è la larghezza minima della fondazione espressa in metri

L è la lunghezza della fondazione (L>B)

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 2 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 49      | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |

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

$I_c = 1,7/N_c^{1,4}$  = indice di compressibilità

$N_c$  è la media aritmetica dei valori  $N_{cs}$  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:

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

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

inoltre:

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

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

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

$f_t = (1,3 + 0,2 \cdot \text{Log}(t/3))$  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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 2 -  | Foglio<br>n. 50                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

$\Delta w = |w_1 - w_2|$  = 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 rigidità 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.

### 5.2 Carichi 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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 2 -  | Foglio<br>n. 51                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> |   |                    |                 |

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:

$$N_c = 9;$$

$R_c = 1$  per argille non consistenti (indice di consistenza  $\geq 0,5$ ) ([2] §8.5.1.1 pag 377; [7] §3.1.2.1 pag.76)

$R_c = (D + 0,5)/(2D) \leq 1$  per pali infissi in argille consistenti

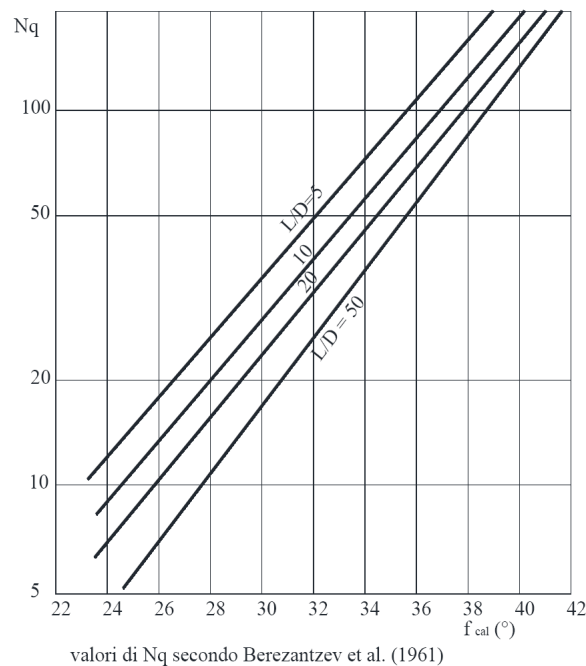
$R_c = (D + 1)/(2D + 1) \leq 1$  per pali trivellati in argille consistenti

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  $N_q$  si utilizzano le curve di Berezantev et al 1961 ([8] §13.1 pag 377; [9] §2.4.2 pag.242)

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



dove:

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

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

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  $\beta$ ".  
Con questo metodo:

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

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

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 2 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 53      | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>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)

| Tipo di palo            | K          |            | μ            |
|-------------------------|------------|------------|--------------|
|                         | (Dr = 25%) | (Dr = 75%) |              |
| 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)

$$K = K_0 = (1 - \sin \phi') \cdot \text{OCR}^{0,5}$$

per pali trivellati in argille consistenti (indice di consistenza  $\geq 0,5$ )

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

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  $0,35 \leq \alpha \leq 0,7$

Pali battuti:  $\alpha = 1 - 0,011(c_u - 25)$  , con  $0,5 \leq \alpha \leq 1$

oppure: ([3] §3.1.2.1 pag 75;)

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 2</b> -   | Foglio<br>n. 54                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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) :

$$\alpha = \frac{0,5}{\left(\frac{c_u}{\sigma'_{v0}}\right)^{0,25}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma'_{v0}} \geq 1$$

$$\alpha = \frac{0,5}{\left(\frac{c_u}{\sigma'_{v0}}\right)^{0,5}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma'_{v0}} \leq 1$$

### 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)

$$p_u = 9 c_u \quad \text{per profondità} \geq 3D,$$

$$p_u = c_u [2 + 7z/(3d)] \quad \text{per } z < 3D$$

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:

$\sigma'_v$  = tensione litostatica verticale efficace

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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 2 -  | Foglio<br>n. 55                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

$\phi'$  = 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 §7.6.2.1 punti (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.*



|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 2 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> | Foglio<br>n. 56      | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>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

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

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:

$$k_v = 2\pi G/\zeta \quad [N/m^2] \quad ([8] \text{ §14.1.2 pag 424})$$

$$\text{dove } \zeta = \ln(2.5 \cdot (1-\nu) \cdot L/r_0) \quad ([8] \text{ §14.1.2 pag 425})$$

La costante di elasticità della punta del palo è

$$k_p = 2dE/(1-\nu^2) \quad [N/m] \quad ([8] \text{ §14.1.2 pag 424})$$

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 2 -  | Foglio<br>n. 57                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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:

$\gamma'$  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 sensibili ( $Dr = 75\%$ )

Nelle formule di questo paragrafo:  $G$  = modulo di elasticità trasversale del terreno;  $\nu$  = coefficiente di Poisson del terreno;  $L$  = lunghezza del palo;  $r_0$  = 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<sup>®</sup> versione 7.0.37 (64 bit), realizzato dall'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](http://www.ingegnerianet.it)

## 6 Affidabilità del software

Il sito internet [www.ingegnerianet.it](http://www.ingegnerianet.it) di distribuzione del software Jasp<sup>®</sup> 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.

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 2 -  | Foglio<br>n. 58                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

## 7 Bibliografia

- [1] R. Lancellotta, *Geotecnica*, 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 |

#### Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot =10)

| N | Descrizione | Classe | Tipo | Classe 2 | Potenza | $\gamma$ | $\varphi'$           | $\varphi'_{cv}$ | Dr  | IC  | c'    | cu    | v | NSPT | OCR | $\Delta\sigma'_p$ | Eed   | CR | RR | CR/RR | FC  |
|---|-------------|--------|------|----------|---------|----------|----------------------|-----------------|-----|-----|-------|-------|---|------|-----|-------------------|-------|----|----|-------|-----|
|   |             |        |      |          |         | [m]      | [kN/m <sup>3</sup> ] | [°]             | [°] | [%] | [kPa] | [kPa] |   |      |     | [kPa]             | [MPa] |    |    |       | [%] |

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 2 -  | Foglio<br>n. 59                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

|   |                       |      |      |           |     |      |       |           |    |     |   |      |      |    |       |      |   |
|---|-----------------------|------|------|-----------|-----|------|-------|-----------|----|-----|---|------|------|----|-------|------|---|
| 1 | vegetale              | limo | fine | argillosa | 0   | 1    | 0     | 04.9E-324 | 0  | 0   | 0 | 0    | 0    | 1  | 0.001 | 0    | 0 |
| 2 | Deposito sabbioso li. | limo | fine | argillosa | 5.8 | 16.7 | 29.39 | 29.39     | 50 | 0.4 | 5 | 56   | 0.34 | 30 | 1     | 1577 | 8 |
| 3 | Ghiaioso sabbioso de. | limo | fine | argillosa | 4.2 | 21.2 | 26    | 26        | 50 | 0.4 | 5 | 17.1 | 0.35 | 30 | 1     | 6685 | 8 |

### Opzioni verifica terreni

| N | Descrizione | Portanza | Portanza  | Scorr.  | Scorr.    | Liquef. | cedimenti  | ced. Burl. | H compr.    | ced. Max | d/Δw | k Amplif. |
|---|-------------|----------|-----------|---------|-----------|---------|------------|------------|-------------|----------|------|-----------|
|   |             | Drenata  | Non Dren. | Drenato | Non Dren. |         | Edometrici | Burbidge   | Bur-Bur [m] | [m]      |      | Sisma     |
| 1 | Opz.A       | auto     | auto      | auto    | auto      | auto    | auto       | auto       | auto        | auto     | auto | auto      |

### Suoli di posa fondazioni

| N | Descrizione | kw Trasv./kw | kw Ass./kw | Stratigrafia | Opzioni Verifiche | Prof. di | H sbanc. | H riporto  | γ riporto  |               |
|---|-------------|--------------|------------|--------------|-------------------|----------|----------|------------|------------|---------------|
|   |             |              |            |              |                   | Terreno  | posa [m] | later. [m] | Later. [m] | Later.[kN/m³] |
| 1 | Posa A      | 0.5          | 0.1        | 1) Tipo A    | 1) Opz.A          |          | 1        | 0          | 0          | 14            |

## Verifiche fondazioni dirette

### Rettagoli di fondazione

| Fondazione | Dimensione  |            |      |      |            |       | P.centro |     |      |
|------------|-------------|------------|------|------|------------|-------|----------|-----|------|
| Piano      | Descrizione | Suolo Posa | B    | L    | Area calc. | Rotaz | x        | y   | z    |
|            |             |            | [m]  | [m]  | [m²]       | [°]   | [m]      | [m] | [m]  |
| 0          | Plinto 1    | 1) Posa A  | 21.8 | 21.8 | 475.24     | 0     | 0        | 0   | -3.4 |

### Inviluppo forze su 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    |  |
| 0     | Plinto 1         | 4) Quasi Perm.  | 0      | 0      | -26.6M | 10.2M   | 183M    | 159M    | 0      | 0      | -26.6M | 10.2M   | 183M    | 159M    |  |

**Suffissi:** f=10<sup>-15</sup>; p=10<sup>-12</sup>; n=10<sup>-9</sup>; μ=10<sup>-6</sup>; m=10<sup>-3</sup>; k=10<sup>3</sup>; M=10<sup>6</sup>; G=10<sup>9</sup>; T=10<sup>12</sup>; P=10<sup>15</sup> (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] |
| 0     | Plinto 1   | 4   | 1   | 55968 | 39268 | 16700 | 0.26305 | 212.77  |

### Verifiche Liquefazione

| Fam | Cmb | q    | qN   | Magnitudo | CM | agS | pa   | Δ falda | sabbia | LPI | coef.  |
|-----|-----|------|------|-----------|----|-----|------|---------|--------|-----|--------|
|     |     | [Pa] | [Pa] |           |    | [g] | [Pa] | [m]     |        |     | verif. |

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 2 -  | Foglio<br>n. 60                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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

### Parametri strati calcolo portanza

| Piano | Rett.Fond | Drenato | fi' [°] | Strato Inferiore |      |       |         | Strato Superiore |       |      |       |         |
|-------|-----------|---------|---------|------------------|------|-------|---------|------------------|-------|------|-------|---------|
|       |           |         |         | γ'               | c'   | cu    | potenza | fi' [°]          | γ'    | c'   | cu    | potenza |
|       |           |         |         | [N/m³]           | [Pa] | [Pa]  | [m]     |                  |       |      |       |         |
| 0     | Plinto 1  | Si      | 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

| Fam | Cmb | Punto di applicazione |        |       | Forza  |        |        |         |         |         | Reagente |       | Press. |
|-----|-----|-----------------------|--------|-------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|----------|-------|--------|
|     |     | x [m]                 | y [m]  | z [m] | Fx [N] | Fy [N] | Fz [N] | Mx [Nm] | My [Nm] | Mz [Nm] | x [m]    | y [m] |        |
|     |     |                       |        |       |        |        |        |         |         |         |          |       | [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<sup>-15</sup>; p=10<sup>-12</sup>; n=10<sup>-9</sup>; μ=10<sup>-6</sup>; m=10<sup>-3</sup>; k=10<sup>3</sup>; M=10<sup>6</sup>; G=10<sup>9</sup>; T=10<sup>12</sup>; P=10<sup>15</sup> (Sistema Internazionale di misura)

### Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno per verifica 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   |
| 1   |     | 4      | 5.822  | 20.906 | 0.278 | 34.3M | 0   | 0   |

**Suffissi:** f=10<sup>-15</sup>; p=10<sup>-12</sup>; n=10<sup>-9</sup>; μ=10<sup>-6</sup>; m=10<sup>-3</sup>; k=10<sup>3</sup>; M=10<sup>6</sup>; G=10<sup>9</sup>; T=10<sup>12</sup>; P=10<sup>15</sup> (Sistema Internazionale di misura)

### Piano 0 Plinto 1 Portanza Drenata

| Fam | Cmb | γ    |       |       |       |       |      |       |       |       |       | c'    |      |       |       |       |       |       |      |       |       | q     |       |  |  |  |      |  |  |  |  |
|-----|-----|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|------|--|--|--|--|
|     |     | 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 | 1.43M | 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 |  |  |  |      |  |  |  |  |

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 2 -  | Foglio<br>n. 61                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

|   |   |      |       |      |       |       |      |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |
|---|---|------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 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 | 3 | 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 | 4 | 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 |

**Suffissi:** f=10<sup>-15</sup>; p=10<sup>-12</sup>; n=10<sup>-9</sup>; μ=10<sup>-6</sup>; m=10<sup>-3</sup>; k=10<sup>3</sup>; M=10<sup>6</sup>; G=10<sup>9</sup>; T=10<sup>12</sup>; P=10<sup>15</sup> (Sistema Internazionale di misura)

### Piano 0 Plinto 1 Scorrimento

| Fam | Cmb | H [N] | Drenato |           |        | Non Drenato |  |
|-----|-----|-------|---------|-----------|--------|-------------|--|
|     |     |       | 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<sup>-15</sup>; p=10<sup>-12</sup>; n=10<sup>-9</sup>; μ=10<sup>-6</sup>; m=10<sup>-3</sup>; k=10<sup>3</sup>; M=10<sup>6</sup>; G=10<sup>9</sup>; T=10<sup>12</sup>; P=10<sup>15</sup> (Sistema Internazionale di misura)

### Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico

| z sup | spess. | σ'vo   | σ'p    | Δσv    | 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

| Piano | Fondazione     | Coefficienti SLU |           |        |           |         | Cedim.Max |       |       | Cedim.Diff. |       |            | Verif. |
|-------|----------------|------------------|-----------|--------|-----------|---------|-----------|-------|-------|-------------|-------|------------|--------|
|       |                | Port.            | Port.     | Scorr. | Scorrim.  | Liquef. | w         | Coef. | Δw    | Dist.       | Coef. | Fondazione |        |
|       |                | Dren.            | Non Dren. | Dren.  | Non Dren. |         | [mm]      |       | [mm]  | [m]         |       | Confronto  |        |
| 0     | Plinto 1<br>S1 | 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   | dren.  | non dren. |        |         |       |          |            |       |        |
| 0.453 |           | 0.453 | 0.000  |           | 0.000  | 0.000   | 0.453 | 0.005    |            | 0.005 | 0.453  |

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 2 -  | Foglio<br>n. 62                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

### 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. |        |         |     |          |            |      |      |        |  |
| Si    | -         | Si    | Si     | -         | Si     | Si      | Si  | Si       | -          | Si   | Si   |        |  |

### 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<sup>®</sup> 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).

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 3 -  | Foglio<br>n. 63                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

## 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<sup>®</sup>. Maggiori informazioni riguardanti la modellazione ed il calcolo delle



|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 3</b> -   | Foglio<br>n. 64                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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 CSLPP 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.

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

$$\gamma_{G1} = 1,3; \quad \gamma_{G2} = 1,5; \quad \gamma_{Qi} = 1,5; \quad \gamma_R = 2,3; \quad \gamma_M = 1,0;$$

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:  $A' = B' \cdot 1m$ );

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

$D$  = profondità del piano di posa;

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

$V$  = carico verticale;

$H$  = carico orizzontale;

$\theta$  = angolo che  $H$  forma con la direzione  $L'$ ;

$R$  = Resistenza totale fondazione;

$c_u$  = Resistenza a taglio non drenata;

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

$c'$  = Coesione intercetta in termini di tensioni efficaci;

$\phi'$  = Angolo di resistenza a taglio in termini di tensioni efficaci;

$\phi'_{cv}$  = 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:

$$\sigma_c = (2 + \pi)$$

$$\sigma_q = q$$

$$s_c = 1 + 0,2 (B'/L')$$

$$i_c = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} [1 - H/(A'c_u)]^{0,5} \text{ con } H \leq A'c_u$$

$$d_c = 1 + 0,4 \text{ atg}(D/B')$$

dove il coefficiente di profondità  $d_c$  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:

$$R/A' = \sigma_c \cdot N_c \cdot d_c \cdot s_c \cdot i_c + \sigma_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot s_q \cdot i_q + \sigma_\gamma \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma$$

con:

$$\sigma_c = c'$$

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 3 -  | Foglio<br>n. 67                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

$$\sigma_q = q'$$

$$\sigma_\gamma = 0,5 \gamma' B'$$

e con i valori di progetto dei fattori adimensionali per

- la resistenza portante:

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

$$N_c = (N_q - 1) \operatorname{ctg} \phi'$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \operatorname{tg} \phi'$$

- la forma della fondazione:

$$s_q = 1 + (B'/L') \operatorname{sen} \phi'$$

$$s_c = (s_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1)$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3(B'/L')$$

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

$$d_q = 1 + 2 \operatorname{tg} \phi' (1 - \sin \phi')^2 \operatorname{atg}(D/B')$$

$$d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \cdot \operatorname{tg} \phi')$$

$$d_\gamma = 1$$

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

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

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_c \cdot \tan \phi');$$

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

dove:

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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 3 -  | Foglio<br>n. 68                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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

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

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  $z = B \sin \psi \exp(\psi \operatorname{tg} \phi')$  con  $\psi = 45^\circ + \phi'/2$  ([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  $\gamma_R$  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  $N\gamma$* , è tenuto in conto con l'introduzione di una forza orizzontale aggiuntiva  $H_k = k_{vk} \cdot V$ , 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:

$$\gamma_{G1} = 1,0; \quad \gamma_{G2} = 1,0; \quad \gamma_{Qi} = 1,0; \quad \gamma_R = 1,1; \quad \gamma_M = 1,0$$

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:  $R_d = V \cdot \operatorname{tg} \phi' \cdot c_v / \gamma_R$

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 3 -  | Foglio<br>n. 69                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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)

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

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 sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 3 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 70      | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>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 =  $S \cdot ag = S_s \cdot S_t \cdot ag$  (NTC18§3.2.3.2) ;

$\sigma_f = \Delta\sigma_v + \sigma_{v0}$  = 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 rigidità della fondazione e modellando il suolo con un semispazio elastico.

$\sigma'_{v0}$  è la tensione geostatica efficace

$\sigma_{v0}$  è la tensione geostatica totale

$g$  è l'accelerazione di gravità;

$rd = 1 - 0,00765 z$ , per  $z \leq 9.15$  m;

$rd = 1,174 - 0,00267 z$ , per  $9.15 \text{ m} < z \leq 23$  m;

$z$  è la profondità in metri dal piano di campagna;

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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 3</b> -   | Foglio<br>n. 71                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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) ;

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

$C_N = (100kPa/\sigma'_{v0})^{1/2}$  con  $0,5 \leq C_N \leq 2$ ;

$C_P = 0,75$  per  $z \leq 3m$  e  $C_P = 1$  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)

$\alpha$  e  $\beta$  dipendono dal contenuto di fino FC, con:

- $FC \leq 5\%$ :  $\alpha = 0,0$  ;  $\beta = 1,0$ ;
- $5\% < FC \leq 35\%$ :  $\alpha = \exp[1,76 - (190/FC^2)]$ ;  $\beta = 0,99 + FC^{1,5}/1000$ ;
- $35\% < FC$ :  $\alpha = 5,0$  ;  $\beta = 1,2$ ;

$C_M$  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)]

$C_M = (M/7,5)^{-6,47}$  per  $M > 7,5$

#### 4.4 Cedimenti

La verifica dei cedimenti è fatta con la disuguaglianza:

$$w \leq 50mm$$

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)



|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 3 -  | Foglio<br>n. 72                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

- 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

$$\Delta H_i = H_i [ RR \cdot \text{Log}(k_R) + CR \cdot \text{Log}(k_C) ]$$

con:

$$k_R = \min \{ \sigma'_p ; \sigma'_f \} / \sigma'_{v0}$$

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

$\sigma'_{v0}$  è la tensione geostatica efficace

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

$$\sigma'_f = \Delta\sigma_v + \sigma'_{v0}$$

$$\sigma'_p = \text{tensione di preconsolidazione} = OCR \cdot \sigma'_{v0}$$

dove:

OCR è il rapporto di preconsolidazione.

$H_i$  = spessore dello strato

RR = rapporto di ricomprensione

CR = rapporto di compressione

Per terreni normalconsolidati  $CR = 2,3 \cdot \sigma'_{v0} / E_{ed}$

Per terreni sovraconsolidati  $RR = 2,3 \cdot \sigma'_{v0} / E_{ed}$

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 3 -  | Foglio<br>n. 73                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

dove Eed è il modulo edometrico.

Il cedimento totale è calcolato sommando il cedimento di tutti gli strati in cui  $\Delta \sigma'_z > 0,10 \sigma'_{v0}$

$$w = \sum \Delta H_i$$

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 :

$$w = f_s \cdot f_h \cdot f_t \cdot Z_1 \cdot I_c \cdot (\sigma_A/3 + \sigma_B)$$

dove:

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

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

$$\sigma'_p = \text{tensione di preconsolidazione al piano di posa della fondazione} = \text{OCR} \cdot \sigma'_{v0}$$

$$Z_1 = B^{0,7} = \text{profondità di influenza}$$

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

$$I_c = 1,7/N_c^{1,4} = \text{indice di compressibilità}$$

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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 3 -  | Foglio<br>n. 74                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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:

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

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

inoltre:

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

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

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

$f_t = (1,3 + 0,2 \cdot \text{Log}(t/3))$  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

$\Delta w = |w_1 - w_2|$  = 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.

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 3</b> -   | Foglio<br>n. 75                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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 rigidità 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.

### 5.2 Carichi 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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 3 -  | Foglio<br>n. 76                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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:

$$N_c = 9;$$

$R_c = 1$  per argille non consistenti (indice di consistenza  $\geq 0,5$ ) ([2] §8.5.1.1 pag 377; [7] §3.1.2.1 pag.76)

$R_c = (D + 0,5)/(2D) \leq 1$  per pali infissi in argille consistenti

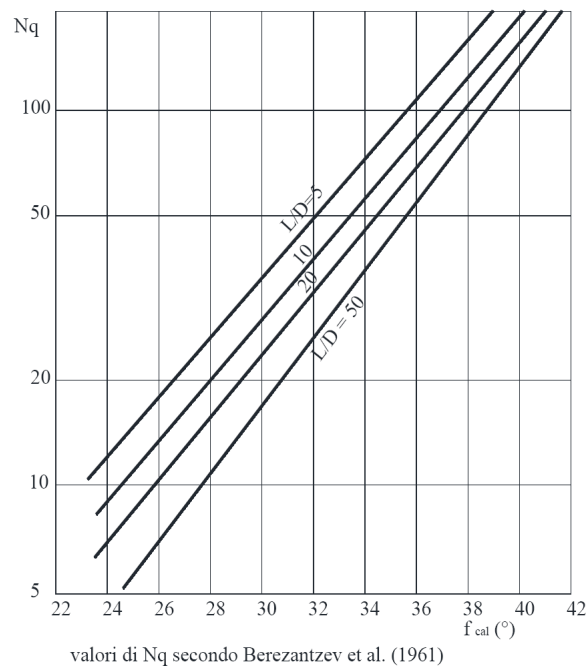
$R_c = (D + 1)/(2D + 1) \leq 1$  per pali trivellati in argille consistenti

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  $N_q$  si utilizzano le curve di Berezantev et al 1961 ([8] §13.1 pag 377; [9] §2.4.2 pag.242)

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



dove:

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

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

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  $\beta$ ".  
Con questo metodo:

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

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

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 3 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> | Foglio<br>n. 78      | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>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)

| Tipo di palo            | K          |            | μ            |
|-------------------------|------------|------------|--------------|
|                         | (Dr = 25%) | (Dr = 75%) |              |
| 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)

$$K = K_0 = (1 - \sin \phi') \cdot \text{OCR}^{0,5}$$

per pali trivellati in argille consistenti (indice di consistenza  $\geq 0,5$ )

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

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  $0,35 \leq \alpha \leq 0,7$

Pali battuti:  $\alpha = 1 - 0,011(c_u - 25)$  , con  $0,5 \leq \alpha \leq 1$

oppure: ([3] §3.1.2.1 pag 75;)

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 3</b> -   | Foglio<br>n. 79                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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) :

$$\alpha = \frac{0,5}{\left(\frac{c_u}{\sigma'_{v0}}\right)^{0,25}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma'_{v0}} \geq 1$$

$$\alpha = \frac{0,5}{\left(\frac{c_u}{\sigma'_{v0}}\right)^{0,5}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma'_{v0}} \leq 1$$

### 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)

$$p_u = 9 c_u \quad \text{per profondità} \geq 3D,$$

$$p_u = c_u [2 + 7z/(3d)] \quad \text{per } z < 3D$$

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:

$\sigma'_v$  = tensione litostatica verticale efficace

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



|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 3 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 80      | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |

$\phi'$  = 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 §7.6.2.1 punti (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.*

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 3 -  | Foglio<br>n. 81                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

*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

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

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:

$$k_v = 2\pi G/\zeta \quad [\text{N/m}^2] \quad ([8] \text{ §14.1.2 pag 424})$$

$$\text{dove } \zeta = \ln(2.5 \cdot (1-\nu) \cdot L/r_0) \quad ([8] \text{ §14.1.2 pag 425})$$

La costante di elasticità della punta del palo è

$$k_p = 2dE/(1-\nu^2) \quad [\text{N/m}] \quad ([8] \text{ §14.1.2 pag 424})$$

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 3 -  | Foglio<br>n. 82                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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:

$\gamma'$  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 sensibili ( $Dr = 75\%$ )

Nelle formule di questo paragrafo:  $G$  = modulo di elasticità trasversale del terreno;  $\nu$  = coefficiente di Poisson del terreno;  $L$  = lunghezza del palo;  $r_0$  = 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<sup>®</sup> versione 7.0.37 (64 bit), realizzato dall'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](http://www.ingegnerianet.it)

## 6 Affidabilità del software

Il sito internet [www.ingegnerianet.it](http://www.ingegnerianet.it) di distribuzione del software Jasp<sup>®</sup> 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.

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 3 -  | Foglio<br>n. 83                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

## 7 Bibliografia

- [1] R. Lancellotta, *Geotecnica*, 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 =9.2 |

#### Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot =9.2)

| N | Descrizione | Classe | Tipo | Classe 2 | Potenza | $\gamma$ | $\varphi'$           | $\varphi'_{cv}$ | Dr  | IC  | c'    | cu    | v | NSPT | OCR | $\Delta\sigma'_p$ | Eed   | CR | RR | CR/RR | FC  |
|---|-------------|--------|------|----------|---------|----------|----------------------|-----------------|-----|-----|-------|-------|---|------|-----|-------------------|-------|----|----|-------|-----|
|   |             |        |      |          |         | [m]      | [kN/m <sup>3</sup> ] | [°]             | [°] | [%] | [kPa] | [kPa] |   |      |     | [kPa]             | [MPa] |    |    |       | [%] |

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 3 -  | Foglio<br>n. 84                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

|   |                       |      |      |           |     |      |       |           |    |     |   |      |      |    |       |      |   |
|---|-----------------------|------|------|-----------|-----|------|-------|-----------|----|-----|---|------|------|----|-------|------|---|
| 1 | vegetale              | limo | fine | argillosa | 0   | 1    | 0     | 04.9E-324 | 0  | 0   | 0 | 0    | 0    | 1  | 0.001 | 0    | 0 |
| 2 | Deposito sabbioso li. | limo | fine | argillosa | 4.2 | 16.7 | 29.09 | 29.09     | 50 | 0.4 | 5 | 46   | 0.34 | 30 | 1     | 594  | 8 |
| 3 | Ghiaioso sabbioso de. | limo | fine | argillosa | 5   | 21.2 | 33.6  | 33.6      | 50 | 0.4 | 2 | 17.1 | 0.31 | 30 | 1     | 1814 | 8 |

### Opzioni verifica terreni

| N | Descrizione | Portanza | Portanza  | Scorr.  | Scorr.    | Liquef. | cedimenti  | ced. Burl. | H compr.    | ced. Max | d/Δw | k Amplif. |
|---|-------------|----------|-----------|---------|-----------|---------|------------|------------|-------------|----------|------|-----------|
|   |             | Drenata  | Non Dren. | Drenato | Non Dren. |         | Edometrici | Burbidge   | Bur-Bur [m] | [m]      |      | Sisma     |
| 1 | Opz.A       | auto     | auto      | auto    | auto      | auto    | auto       | auto       | auto        | auto     | auto | auto      |

### Suoli di posa fondazioni

| N | Descrizione | kw Trasv./kw | kw Ass./kw | Stratigrafia | Opzioni Verifiche | Prof. di | H sbanc. | H riporto  | γ riporto  |               |
|---|-------------|--------------|------------|--------------|-------------------|----------|----------|------------|------------|---------------|
|   |             |              |            |              |                   | Terreno  | posa [m] | later. [m] | Later. [m] | Later.[kN/m³] |
| 1 | Posa A      | 0.5          | 0.1        | 1) Tipo A    | 1) Opz.A          |          | 1        | 0          | 0          | 14            |

## Verifiche fondazioni dirette

### Rettagoli di fondazione

| Fondazione | Dimensione  |            |      |      |            |       | P.centro |     |      |
|------------|-------------|------------|------|------|------------|-------|----------|-----|------|
| Piano      | Descrizione | Suolo Posa | B    | L    | Area calc. | Rotaz | x        | y   | z    |
|            |             |            | [m]  | [m]  | [m²]       | [°]   | [m]      | [m] | [m]  |
| 0          | Plinto 1    | 1) Posa A  | 21.8 | 21.8 | 475.24     | 0     | 0        | 0   | -3.4 |

### Inviluppo forze su 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    |
| 0     | Plinto 1         | 4) Quasi Perm.  | 0      | 0      | -26.6M | 10.2M   | 183M    | 159M    | 0      | 0      | -26.6M | 10.2M   | 183M    | 159M    |

**Suffissi:** f=10<sup>-15</sup>; p=10<sup>-12</sup>; n=10<sup>-9</sup>; μ=10<sup>-6</sup>; m=10<sup>-3</sup>; k=10<sup>3</sup>; M=10<sup>6</sup>; G=10<sup>9</sup>; T=10<sup>12</sup>; P=10<sup>15</sup> (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] |
| 0     | Plinto 1   | 4   | 1   | 55968 | 39268 | 16700 | 0.5764 | 97.098  |

### Verifiche Liquefazione

| Fam | Cmb | q    | qN   | Magnitudo | CM | agS | pa   | Δ falda | sabbia | LPI | coef.  |
|-----|-----|------|------|-----------|----|-----|------|---------|--------|-----|--------|
|     |     | [Pa] | [Pa] |           |    | [g] | [Pa] | [m]     |        |     | verif. |



|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 3 -  | Foglio<br>n. 86                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

|   |   |      |       |      |       |       |      |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |
|---|---|------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 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 | 3 | 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 | 4 | 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 |

**Suffissi:** f=10<sup>-15</sup>; p=10<sup>-12</sup>; n=10<sup>-9</sup>; μ=10<sup>-6</sup>; m=10<sup>-3</sup>; k=10<sup>3</sup>; M=10<sup>6</sup>; G=10<sup>9</sup>; T=10<sup>12</sup>; P=10<sup>15</sup> (Sistema Internazionale di misura)

### Piano 0 Plinto 1 Scorrimento

| Fam | Cmb | H [N] | Drenato |           |        | Non Drenato |  |
|-----|-----|-------|---------|-----------|--------|-------------|--|
|     |     |       | Rd [N]  | coefVerif | Rd [N] | coefVerif   |  |
| 1   | 1   | 0     | 17.4M   | 0.000 -   | -      | -           |  |
| 1   | 2   | 0     | 17.4M   | 0.000 -   | -      | -           |  |
| 1   | 3   | 0     | 17.4M   | 0.000 -   | -      | -           |  |
| 1   | 4   | 0     | 17.4M   | 0.000 -   | -      | -           |  |

**Suffissi:** f=10<sup>-15</sup>; p=10<sup>-12</sup>; n=10<sup>-9</sup>; μ=10<sup>-6</sup>; m=10<sup>-3</sup>; k=10<sup>3</sup>; M=10<sup>6</sup>; G=10<sup>9</sup>; T=10<sup>12</sup>; P=10<sup>15</sup> (Sistema Internazionale di misura)

### Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico

| z sup | spess. | σ'vo   | σ'p    | Δσv    | 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

| Piano | Fondazione     | Coefficienti SLU |           |        |           |         | Cedim.Max |       |       | Cedim.Diff. |       |           | Fondazione | Verif. |
|-------|----------------|------------------|-----------|--------|-----------|---------|-----------|-------|-------|-------------|-------|-----------|------------|--------|
|       |                | Port.            | Port.     | Scorr. | Scorrim.  | Liquef. | w         | Coef. | Δw    | Dist.       | Coef. |           |            |        |
|       |                | Dren.            | Non Dren. | Dren.  | Non Dren. |         | [mm]      |       | [mm]  | [m]         |       | Confronto |            |        |
| 0     | Plinto 1<br>S1 | 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 |
|-------|-----------|-------|--------|-----------|--------|---------|-------|----------|------------|-------|-------|--------|
| 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 |        |

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 3 -  | Foglio<br>n. 87                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

### 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. |        |         |     |          |            |      |      |        |
| Si    | -         | Si    | Si     | -         | Si     | Si      | Si  | Si       | -          | Si   | Si   |        |

### 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<sup>®</sup> 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).



|                                     |  |   |                    |                 |
|-------------------------------------|--|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>  | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 4 -   | Foglio<br>n. 88                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>         IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>         DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>         EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>         IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>         COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>         DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>         RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>         RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>         DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>         NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>         SANTERAMO IN COLLE</b> |   |                    |                 |

## 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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 4</b> -   | Foglio<br>n. 89                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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 CSLP 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.

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 4 -  | Foglio<br>n. 90                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

## 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:

$$\gamma_{G1} = 1,3; \quad \gamma_{G2} = 1,5; \quad \gamma_{Qi} = 1,5; \quad \gamma_R = 2,3; \quad \gamma_M = 1,0;$$

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:  $A' = B' \cdot 1m$ );

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

$D$  = profondità del piano di posa;

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

$V$  = carico verticale;

$H$  = carico orizzontale;

$\theta$  = angolo che  $H$  forma con la direzione  $L'$ ;

$R$  = Resistenza totale fondazione;

$c_u$  = Resistenza a taglio non drenata;

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

$c'$  = Coesione intercetta in termini di tensioni efficaci;

$\varphi'$  = Angolo di resistenza a taglio in termini di tensioni efficaci;

$\varphi'_{cv}$  = 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:

$$\sigma_c = (2 + \pi)$$

$$\sigma_q = q$$

$$s_c = 1 + 0,2 (B'/L')$$

$$i_c = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} [1 - H/(A'c_u)]^{0,5} \text{ con } H \leq A'c_u$$

$$d_c = 1 + 0,4 \operatorname{atg}(D/B')$$

dove il coefficiente di profondità  $d_c$  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:

$$R/A' = \sigma_c \cdot N_c \cdot d_c \cdot s_c \cdot i_c + \sigma_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot s_q \cdot i_q + \sigma_\gamma \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma$$

con:

$$\sigma_c = c'$$

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 4 -  | Foglio<br>n. 92                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

$$\sigma_q = q'$$

$$\sigma_\gamma = 0,5 \gamma' B'$$

e con i valori di progetto dei fattori adimensionali per

- la resistenza portante:

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

$$N_c = (N_q - 1) \operatorname{ctg} \phi'$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \operatorname{tg} \phi'$$

- la forma della fondazione:

$$s_q = 1 + (B'/L') \operatorname{sen} \phi'$$

$$s_c = (s_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1)$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3(B'/L')$$

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

$$d_q = 1 + 2 \operatorname{tg} \phi' (1 - \sin \phi')^2 \operatorname{atg}(D/B')$$

$$d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \cdot \operatorname{tg} \phi')$$

$$d_\gamma = 1$$

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

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

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_c \cdot \tan \phi');$$

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

dove:

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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 4 -  | Foglio<br>n. 93                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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

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

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  $z = B \sin\psi \exp(\psi \operatorname{tg}\phi')$  con  $\psi = 45^\circ + \phi'/2$  ([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  $\gamma_R$  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  $N\gamma$* , è tenuto in conto con l'introduzione di una forza orizzontale aggiuntiva  $H_k = k_{vk} \cdot V$ , 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:

$$\gamma_{G1} = 1,0; \quad \gamma_{G2} = 1,0; \quad \gamma_{Qi} = 1,0; \quad \gamma_R = 1,1; \quad \gamma_M = 1,0$$

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:  $R_d = V \cdot \operatorname{tg} \phi' \cdot c_v / \gamma_R$

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 4 -  | Foglio<br>n. 94                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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)

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

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 sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 4 -  | Foglio<br>n. 95                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> |   |                    |                 |

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 =  $S \cdot ag = S_s \cdot S_t \cdot ag$  (NTC18§3.2.3.2) ;

$\sigma_f = \Delta\sigma_v + \sigma_{v0}$  = 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 rigidità della fondazione e modellando il suolo con un semispazio elastico.

$\sigma'_{v0}$  è la tensione geostatica efficace

$\sigma_{v0}$  è la tensione geostatica totale

$g$  è l'accelerazione di gravità;

$rd = 1 - 0,00765 z$ , per  $z \leq 9.15$  m;

$rd = 1,174 - 0,00267 z$ , per  $9.15 \text{ m} < z \leq 23$  m;

$z$  è la profondità in metri dal piano di campagna;

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



|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 4 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 96      | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>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) ;

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

$C_N = (100kPa/\sigma'_{v0})^{1/2}$  con  $0,5 \leq C_N \leq 2$ ;

$C_P = 0,75$  per  $z \leq 3m$  e  $C_P = 1$  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)

$\alpha$  e  $\beta$  dipendono dal contenuto di fino FC, con:

- $FC \leq 5\%$ :  $\alpha = 0,0$  ;  $\beta = 1,0$ ;
- $5\% < FC \leq 35\%$ :  $\alpha = \exp[1,76 - (190/FC^2)]$ ;  $\beta = 0,99 + FC^{1,5}/1000$ ;
- $35\% < FC$ :  $\alpha = 5,0$  ;  $\beta = 1,2$ ;

$C_M$  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)]

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

#### 4.4 Cedimenti

La verifica dei cedimenti è fatta con la disuguaglianza:

$$w \leq 50mm$$

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)

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 4 -  | Foglio<br>n. 97                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

- 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

$$\Delta H_i = H_i [ RR \cdot \text{Log}(k_R) + CR \cdot \text{Log}(k_C) ]$$

con:

$$k_R = \min \{ \sigma'_p ; \sigma'_f \} / \sigma'_{v0}$$

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

$\sigma'_{v0}$  è la tensione geostatica efficace

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

$$\sigma'_f = \Delta\sigma_v + \sigma'_{v0}$$

$$\sigma'_p = \text{tensione di preconsolidazione} = OCR \cdot \sigma'_{v0}$$

dove:

OCR è il rapporto di preconsolidazione.

$H_i$  = spessore dello strato

RR = rapporto di ricomprensione

CR = rapporto di compressione

Per terreni normalconsolidati  $CR = 2,3 \cdot \sigma'_{v0} / E_{ed}$

Per terreni sovraconsolidati  $RR = 2,3 \cdot \sigma'_{v0} / E_{ed}$

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 4 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 98      | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |

dove Eed è il modulo edometrico.

Il cedimento totale è calcolato sommando il cedimento di tutti gli strati in cui  $\Delta \sigma'_z > 0,10 \sigma'_{v0}$

$$w = \sum \Delta H_i$$

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 :

$$w = f_s \cdot f_h \cdot f_t \cdot Z_1 \cdot I_c \cdot (\sigma_A/3 + \sigma_B)$$

dove:

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

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

$$\sigma'_p = \text{tensione di preconsolidazione al piano di posa della fondazione} = \text{OCR} \cdot \sigma'_{v0}$$

$$Z_1 = B^{0,7} = \text{profondità di influenza}$$

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

$$I_c = 1,7/N_c^{1,4} = \text{indice di compressibilità}$$

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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 4 -  | Foglio<br>n. 99                           | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> |   |                    |                 |

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:

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

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

inoltre:

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

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

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

$f_t = (1,3 + 0,2 \cdot \text{Log}(t/3))$  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

$\Delta w = |w_1 - w_2|$  = 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.

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 4</b> -   | Foglio<br>n. 100                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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 rigidità 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.

### 5.2 Carichi 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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 4 -  | Foglio<br>n. 101                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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:

$$N_c = 9;$$

$R_c = 1$  per argille non consistenti (indice di consistenza  $\geq 0,5$ ) ([2] §8.5.1.1 pag 377; [7] §3.1.2.1 pag.76)

$R_c = (D + 0,5)/(2D) \leq 1$  per pali infissi in argille consistenti

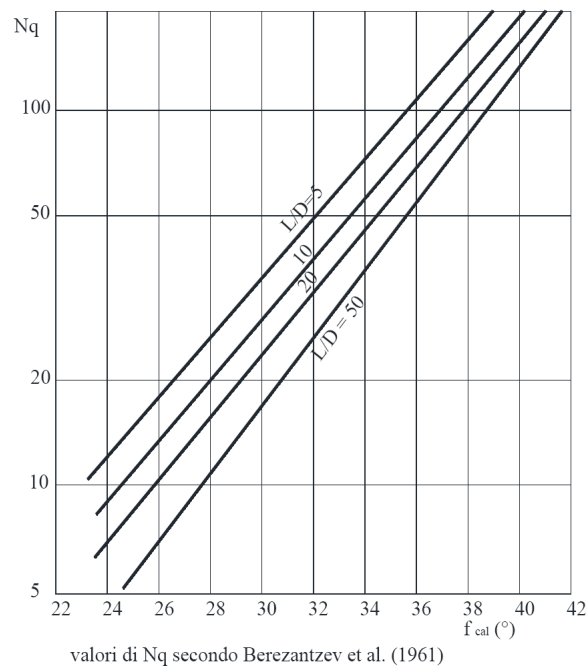
$R_c = (D + 1)/(2D + 1) \leq 1$  per pali trivellati in argille consistenti

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  $N_q$  si utilizzano le curve di Berezantev et al 1961 ([8] §13.1 pag 377; [9] §2.4.2 pag.242)

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 4 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> | Foglio<br>n. 102     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |



dove:

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

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

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  $\beta$ ".  
Con questo metodo:

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

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

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 4 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> | Foglio<br>n. 103     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>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)

| Tipo di palo            | K          |            | μ            |
|-------------------------|------------|------------|--------------|
|                         | (Dr = 25%) | (Dr = 75%) |              |
| 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)

$$K = K_0 = (1 - \sin \phi') \cdot \text{OCR}^{0,5}$$

per pali trivellati in argille consistenti (indice di consistenza  $\geq 0,5$ )

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

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  $0,35 \leq \alpha \leq 0,7$

Pali battuti:  $\alpha = 1 - 0,011(c_u - 25)$  , con  $0,5 \leq \alpha \leq 1$

oppure: ([3] §3.1.2.1 pag 75;)



|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 4</b> -   | Foglio<br>n. 104                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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) :

$$\alpha = \frac{0,5}{\left(\frac{c_u}{\sigma'_{v0}}\right)^{0,25}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma'_{v0}} \geq 1$$

$$\alpha = \frac{0,5}{\left(\frac{c_u}{\sigma'_{v0}}\right)^{0,5}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma'_{v0}} \leq 1$$

### 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)

$$p_u = 9 c_u \quad \text{per profondità} \geq 3D,$$

$$p_u = c_u [2 + 7z/(3d)] \quad \text{per } z < 3D$$

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:

$\sigma'_v$  = tensione litostatica verticale efficace

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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 4 -  | Foglio<br>n. 105                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

$\phi'$  = 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 §7.6.2.1 punti (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.*

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 4 -  | Foglio<br>n. 106                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

*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

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

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:

$$k_v = 2\pi G/\zeta \quad [\text{N/m}^2] \quad ([8] \text{ §14.1.2 pag 424})$$

$$\text{dove } \zeta = \ln(2.5 \cdot (1-\nu) \cdot L/r_0) \quad ([8] \text{ §14.1.2 pag 425})$$

La costante di elasticità della punta del palo è

$$k_p = 2dE/(1-\nu^2) \quad [\text{N/m}] \quad ([8] \text{ §14.1.2 pag 424})$$

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 4 -  | Foglio<br>n. 107                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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:

$\gamma'$  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 sensibili ( $Dr = 75\%$ )

Nelle formule di questo paragrafo:  $G$  = modulo di elasticità trasversale del terreno;  $\nu$  = coefficiente di Poisson del terreno;  $L$  = lunghezza del palo;  $r_0$  = 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<sup>®</sup> versione 7.0.37 (64 bit), realizzato dall'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](http://www.ingegnerianet.it)

## 6 Affidabilità del software

Il sito internet [www.ingegnerianet.it](http://www.ingegnerianet.it) di distribuzione del software Jasp<sup>®</sup> 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.

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 4 -  | Foglio<br>n. 108                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

## 7 Bibliografia

- [1] R. Lancellotta, *Geotecnica*, 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 4 strati: Htot =10.1 |

#### Strati stratigrafia Tipo A (4 strati: Htot =10.1)

| N | Descrizione | Classe | Tipo | Classe 2 | Potenza | $\gamma$ | $\varphi'$           | $\varphi'_{cv}$ | Dr  | IC  | c'    | cu    | v | NSPT | OCR | $\Delta\sigma'_p$ | Eed   | CR | RR | CR/RR | FC  |
|---|-------------|--------|------|----------|---------|----------|----------------------|-----------------|-----|-----|-------|-------|---|------|-----|-------------------|-------|----|----|-------|-----|
|   |             |        |      |          |         | [m]      | [kN/m <sup>3</sup> ] | [°]             | [°] | [%] | [kPa] | [kPa] |   |      |     | [kPa]             | [MPa] |    |    |       | [%] |

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 4 -  | Foglio<br>n. 109                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

|   |                       |      |      |           |     |      |       |           |    |     |   |      |      |    |       |      |   |
|---|-----------------------|------|------|-----------|-----|------|-------|-----------|----|-----|---|------|------|----|-------|------|---|
| 1 | vegetale              | limo | fine | argillosa | 0   | 1    | 0     | 04.9E-324 | 0  | 0   | 0 | 0    | 0    | 1  | 0.001 | 0    | 0 |
| 2 | Deposito sabbioso li. | limo | fine | argillosa | 1.6 | 16.8 | 29.44 | 29.44     | 50 | 0.4 | 5 | 58   | 0.34 | 30 | 1     | 121  | 8 |
| 3 | Ghiaioso sabbioso de. | limo | fine | argillosa | 1.2 | 22   | 38.17 | 38.17     | 50 | 0.4 | 2 | 17.1 | 0.28 | 30 | 1     | 594  | 8 |
| 4 | Ghiaioso sabbioso de. | limo | fine | argillosa | 7.3 | 16.7 | 29.34 | 29.34     | 50 | 0.4 | 2 | 55   | 0.34 | 30 | 1     | 1814 | 8 |

### Opzioni verifica terreni

| N | Descrizione | Portanza | Portanza  | Scorr.  | Scorr.    | Liquef. | cedimenti  | ced. Burl. | H compr.    | ced. Max | d/Δw | k Amplif. |
|---|-------------|----------|-----------|---------|-----------|---------|------------|------------|-------------|----------|------|-----------|
|   |             | Drenata  | Non Dren. | Drenato | Non Dren. |         | Edometrici | Burbidge   | Bur-Bur [m] | [m]      |      | Sisma     |
| 1 | Opz.A       | auto     | auto      | auto    | auto      | auto    | auto       | auto       | auto        | auto     | auto | auto      |

### Suoli di posa fondazioni

| N | Descrizione | kw Trasv./kw | kw Ass./kw | Stratigrafia | Opzioni Verifiche | Prof. di | H sbanc. | H riporto  | γ riporto  |               |
|---|-------------|--------------|------------|--------------|-------------------|----------|----------|------------|------------|---------------|
|   |             |              |            |              |                   | Terreno  | posa [m] | later. [m] | Later. [m] | Later.[kN/m³] |
| 1 | Posa A      | 0.5          | 0.1        | 1) Tipo A    | 1) Opz.A          |          | 1        | 0          | 0          | 14            |

### Verifiche fondazioni dirette

#### Rettangoli di fondazione

| Fondazione | Dimensione  |            |      |      |            |       | P.centro |     |      |
|------------|-------------|------------|------|------|------------|-------|----------|-----|------|
| Piano      | Descrizione | Suolo Posa | B    | L    | Area calc. | Rotaz | x        | y   | z    |
|            |             |            | [m]  | [m]  | [m²]       | [°]   | [m]      | [m] | [m]  |
| 0          | Plinto 1    | 1) Posa A  | 21.8 | 21.8 | 475.24     | 0     | 0        | 0   | -3.4 |

#### Inviluppo forze su 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    |  |
| 0     | Plinto 1         | 4) Quasi Perm.  | 0      | 0      | -26.6M | 10.2M   | 183M    | 159M    | 0      | 0      | -26.6M | 10.2M   | 183M    | 159M    |  |

Suffissi: f=10<sup>-15</sup>; p=10<sup>-12</sup>; n=10<sup>-9</sup>; μ=10<sup>-6</sup>; m=10<sup>-3</sup>; k=10<sup>3</sup>; M=10<sup>6</sup>; G=10<sup>9</sup>; T=10<sup>12</sup>; P=10<sup>15</sup> (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] |
| 0     | Plinto 1   | 4   | 1   | 55968 | 39168 | 16800 | 0.6784 | 82.499  |

#### Verifiche Liquefazione

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 4 -  | Foglio<br>n. 110                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

| 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

| 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      | 29.44 | 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 di applicazione |     |       |        |       | 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<sup>-15</sup>; p=10<sup>-12</sup>; n=10<sup>-9</sup>; μ=10<sup>-6</sup>; m=10<sup>-3</sup>; k=10<sup>3</sup>; M=10<sup>6</sup>; G=10<sup>9</sup>; T=10<sup>12</sup>; P=10<sup>15</sup> (Sistema Internazionale di misura)

### Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno per verifica 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   |
| 1   |     | 4     | 5.822 | 20.906 | 0.278 | 34.3M | 0   | 0   |

Suffissi: f=10<sup>-15</sup>; p=10<sup>-12</sup>; n=10<sup>-9</sup>; μ=10<sup>-6</sup>; m=10<sup>-3</sup>; k=10<sup>3</sup>; M=10<sup>6</sup>; G=10<sup>9</sup>; T=10<sup>12</sup>; P=10<sup>15</sup> (Sistema Internazionale di misura)

### Piano 0 Plinto 1 Portanza Drenata

| γ | c' | q |
|---|----|---|
|---|----|---|

|                     |  |   |                  |                    |
|---------------------|--|---|------------------|--------------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b> | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b><br><br><b>- Aerogeneratore 4 -</b> | Codice documento:<br><br><b>R_15_EO_SCS10</b>   |                  |                    |
|                     | Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe  | Titolo sintetico:<br><b>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</b> | Foglio<br>n. 111 | Data<br>20/07/2022 |

| Fam | Cmb | q    | qLim  | yR   | coef  | $\sigma$ | N    | s     | i     | b     | d     | $\sigma$ | N    | s     | i     | b     | d     | $\sigma$ | 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

| Fam | Cmb | H [N] | Drenato |           |   | Non Drenato |           |   |
|-----|-----|-------|---------|-----------|---|-------------|-----------|---|
|     |     |       | 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

| z sup | spess. | $\sigma'_{vo}$ | $\sigma'_p$ | $\Delta\sigma_v$ | $\Delta\sigma_v/qN$ | $\sigma'_f$ | CR         | RR        | $\Delta w_i$ |
|-------|--------|----------------|-------------|------------------|---------------------|-------------|------------|-----------|--------------|
| [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    |
| 6.45  | 3.65   | 144712         | 144712      | 120793           | 0.86233             | 265505      | 0.00018369 | 2.2961E-5 | 0.00017671   |

## Riassunto verifiche

### Verifiche terreno di fondazione

| Piano | Fondazione     | Coefficienti SLU |           |        |           |         | Cedim.Max |       |            | Cedim.Diff. |       |          | Fondazione | Verif. |
|-------|----------------|------------------|-----------|--------|-----------|---------|-----------|-------|------------|-------------|-------|----------|------------|--------|
|       |                | Port.            | Port.     | Scorr. | Scorrim.  | Liquef. | w         | Coef. | $\Delta w$ | Dist.       | Coef. |          |            |        |
|       |                | Dren.            | Non Dren. | Dren.  | Non Dren. |         | [mm]      |       | [mm]       | [m]         |       |          |            |        |
| 0     | Plinto 1<br>Si | 0.472            |           | 0.000  |           | 0.000   | 0.678     | 0.013 | 0.000      | 0.000       | -     | Plinto 1 |            |        |

### Coefficienti totali verifiche terreno di fondazione



|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 4 -  | Foglio<br>n. 112                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

| 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. |        |         |     |          |            |      |        |
| Si    | -         | Si    | Si     | -         | Si     | Si      | Si  | Si       | -          | Si   | Si     |

## 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).

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 5 -  | Foglio<br>n. 113                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

## 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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 5</b> -   | Foglio<br>n. 114                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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 CSLPP 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.

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 5 -  | Foglio<br>n. 115                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

## 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:

$$\gamma_{G1} = 1,3; \quad \gamma_{G2} = 1,5; \quad \gamma_{Qi} = 1,5; \quad \gamma_R = 2,3; \quad \gamma_M = 1,0;$$

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:  $A' = B' \cdot 1m$ );

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

$D$  = profondità del piano di posa;

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

$V$  = carico verticale;

$H$  = carico orizzontale;

$\theta$  = angolo che  $H$  forma con la direzione  $L'$ ;

$R$  = Resistenza totale fondazione;

$c_u$  = Resistenza a taglio non drenata;

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 5 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 116     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |

$c'$  = Coesione intercetta in termini di tensioni efficaci;

$\phi'$  = Angolo di resistenza a taglio in termini di tensioni efficaci;

$\phi'_{cv}$  = 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:

$$\sigma_c = (2 + \pi)$$

$$\sigma_q = q$$

$$s_c = 1 + 0,2 (B'/L')$$

$$i_c = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} [1 - H/(A'c_u)]^{0,5} \text{ con } H \leq A'c_u$$

$$d_c = 1 + 0,4 \operatorname{atg}(D/B')$$

dove il coefficiente di profondità  $d_c$  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:

$$R/A' = \sigma_c \cdot N_c \cdot d_c \cdot s_c \cdot i_c + \sigma_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot s_q \cdot i_q + \sigma_\gamma \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma$$

con:

$$\sigma_c = c'$$

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 5 -  | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 117     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |

$$\sigma_q = q'$$

$$\sigma_\gamma = 0,5 \gamma' B'$$

e con i valori di progetto dei fattori adimensionali per

- la resistenza portante:

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

$$N_c = (N_q - 1) \operatorname{ctg} \phi'$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \operatorname{tg} \phi'$$

- la forma della fondazione:

$$s_q = 1 + (B'/L') \operatorname{sen} \phi'$$

$$s_c = (s_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1)$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3(B'/L')$$

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

$$d_q = 1 + 2 \operatorname{tg} \phi' (1 - \sin \phi')^2 \operatorname{atg}(D/B')$$

$$d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \cdot \operatorname{tg} \phi')$$

$$d_\gamma = 1$$

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

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

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_c \cdot \tan \phi');$$

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

dove:

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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 5 -  | Foglio<br>n. 118                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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

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

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  $z = B \sin\psi \exp(\psi \operatorname{tg}\phi')$  con  $\psi = 45^\circ + \phi'/2$  ([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  $\gamma_R$  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  $N\gamma$* , è tenuto in conto con l'introduzione di una forza orizzontale aggiuntiva  $H_k = k_{vk} \cdot V$ , 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:

$$\gamma_{G1} = 1,0; \quad \gamma_{G2} = 1,0; \quad \gamma_{Qi} = 1,0; \quad \gamma_R = 1,1; \quad \gamma_M = 1,0$$

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:  $R_d = V \cdot \operatorname{tg} \phi' \cdot c_v / \gamma_R$

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 5 -  | Foglio<br>n. 119                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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)

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

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 sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;



|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 5</b> -   | Foglio<br>n. 120                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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 =  $S \cdot ag = S_s \cdot S_t \cdot ag$  (NTC18§3.2.3.2) ;

$\sigma_f = \Delta\sigma_v + \sigma_{v0}$  = 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 rigidità della fondazione e modellando il suolo con un semispazio elastico.

$\sigma'_{v0}$  è la tensione geostatica efficace

$\sigma_{v0}$  è la tensione geostatica totale

$g$  è l'accelerazione di gravità;

$rd = 1 - 0,00765 z$ , per  $z \leq 9.15$  m;

$rd = 1,174 - 0,00267 z$ , per  $9.15 \text{ m} < z \leq 23$  m;

$z$  è la profondità in metri dal piano di campagna;

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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 5 -  | Foglio<br>n. 121                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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) ;

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

$C_N = (100kPa/\sigma'_{v0})^{1/2}$  con  $0,5 \leq C_N \leq 2$ ;

$C_P = 0,75$  per  $z \leq 3m$  e  $C_P = 1$  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)

$\alpha$  e  $\beta$  dipendono dal contenuto di fino FC, con:

- $FC \leq 5\%$ :  $\alpha = 0,0$  ;  $\beta = 1,0$ ;
- $5\% < FC \leq 35\%$ :  $\alpha = \exp[1,76 - (190/FC^2)]$ ;  $\beta = 0,99 + FC^{1,5}/1000$ ;
- $35\% < FC$ :  $\alpha = 5,0$  ;  $\beta = 1,2$ ;

$C_M$  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)]

$C_M = (M/7,5)^{-6,47}$  per  $M > 7,5$

#### 4.4 Cedimenti

La verifica dei cedimenti è fatta con la disuguaglianza:

$$w \leq 50mm$$

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)

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 5 -  | Foglio<br>n. 122                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

- 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

$$\Delta H_i = H_i [ RR \cdot \text{Log}(k_R) + CR \cdot \text{Log}(k_C) ]$$

con:

$$k_R = \min\{\sigma'_p; \sigma'_f\} / \sigma'_{v0}$$

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

$\sigma'_{v0}$  è la tensione geostatica efficace

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

$$\sigma'_f = \Delta\sigma_v + \sigma'_{v0}$$

$$\sigma'_p = \text{tensione di preconsolidazione} = OCR \cdot \sigma'_{v0}$$

dove:

OCR è il rapporto di preconsolidazione.

$H_i$  = spessore dello strato

RR = rapporto di ricomprensione

CR = rapporto di compressione

Per terreni normalconsolidati  $CR = 2,3 \cdot \sigma'_{v0} / E_{ed}$

Per terreni sovraconsolidati  $RR = 2,3 \cdot \sigma'_{v0} / E_{ed}$

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 5 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 123     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |

dove Eed è il modulo edometrico.

Il cedimento totale è calcolato sommando il cedimento di tutti gli strati in cui  $\Delta \sigma'_z > 0,10 \sigma'_{v0}$

$$w = \sum \Delta H_i$$

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 :

$$w = f_s \cdot f_h \cdot f_t \cdot Z_1 \cdot I_c \cdot (\sigma_A/3 + \sigma_B)$$

dove:

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

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

$$\sigma'_p = \text{tensione di preconsolidazione al piano di posa della fondazione} = \text{OCR} \cdot \sigma'_{v0}$$

$$Z_1 = B^{0,7} = \text{profondità di influenza}$$

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

$$I_c = 1,7/N_c^{1,4} = \text{indice di compressibilità}$$

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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 5 -  | Foglio<br>n. 124                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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:

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

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

inoltre:

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

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

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

$f_t = (1,3 + 0,2 \cdot \text{Log}(t/3))$  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

$\Delta w = |w_1 - w_2|$  = 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.

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 5</b> -   | Foglio<br>n. 125                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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 rigidità 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.

### 5.2 Carichi 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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 5 -  | Foglio<br>n. 126                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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:

$$N_c = 9;$$

$R_c = 1$  per argille non consistenti (indice di consistenza  $\geq 0,5$ ) ([2] §8.5.1.1 pag 377; [7] §3.1.2.1 pag.76)

$R_c = (D + 0,5)/(2D) \leq 1$  per pali infissi in argille consistenti

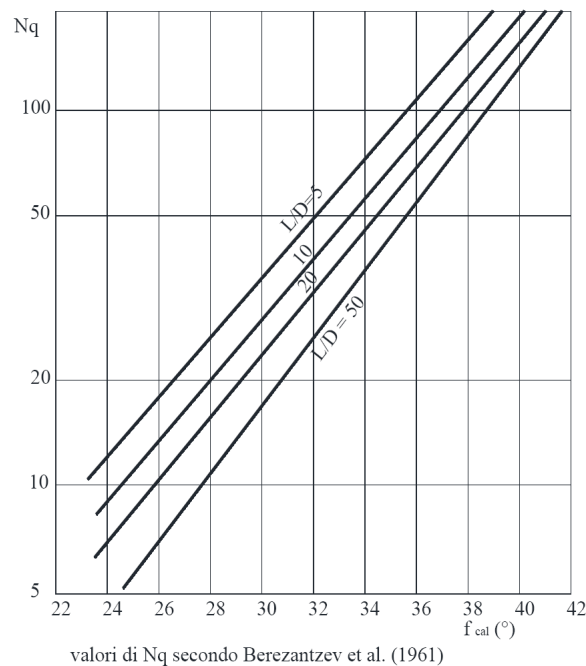
$R_c = (D + 1)/(2D + 1) \leq 1$  per pali trivellati in argille consistenti

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  $N_q$  si utilizzano le curve di Berezantev et al 1961 ([8] §13.1 pag 377; [9] §2.4.2 pag.242)

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 5 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> | Foglio<br>n. 127     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |



dove:

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

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

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  $\beta$ ".  
Con questo metodo:

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

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



|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 5 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> | Foglio<br>n. 128     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>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)

| Tipo di palo            | K          |            | μ            |
|-------------------------|------------|------------|--------------|
|                         | (Dr = 25%) | (Dr = 75%) |              |
| 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)

$$K = K_0 = (1 - \sin \phi') \cdot \text{OCR}^{0,5}$$

per pali trivellati in argille consistenti (indice di consistenza  $\geq 0,5$ )

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

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  $0,35 \leq \alpha \leq 0,7$

Pali battuti:  $\alpha = 1 - 0,011(c_u - 25)$  , con  $0,5 \leq \alpha \leq 1$

oppure: ([3] §3.1.2.1 pag 75;)

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 5</b> -   | Foglio<br>n. 129                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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) :

$$\alpha = \frac{0,5}{\left(\frac{c_u}{\sigma'_{v0}}\right)^{0,25}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma'_{v0}} \geq 1$$

$$\alpha = \frac{0,5}{\left(\frac{c_u}{\sigma'_{v0}}\right)^{0,5}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma'_{v0}} \leq 1$$

### 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)

$$p_u = 9 c_u \quad \text{per profondità} \geq 3D,$$

$$p_u = c_u [2 + 7z/(3d)] \quad \text{per } z < 3D$$

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:

$\sigma'_v$  = tensione litostatica verticale efficace

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

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 5 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 130     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |

$\phi'$  = 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 §7.6.2.1 punti (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.*

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 5 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> | Foglio<br>n. 131     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>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

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

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:

$$k_v = 2\pi G/\zeta \quad [N/m^2] \quad ([8] \text{ §14.1.2 pag 424})$$

$$\text{dove } \zeta = \ln(2.5 \cdot (1-\nu) \cdot L/r_0) \quad ([8] \text{ §14.1.2 pag 425})$$

La costante di elasticità della punta del palo è

$$k_p = 2dE/(1-\nu^2) \quad [N/m] \quad ([8] \text{ §14.1.2 pag 424})$$

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 5 -  | Foglio<br>n. 132                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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:

$\gamma'$  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 sensibili ( $Dr = 75\%$ )

Nelle formule di questo paragrafo:  $G$  = modulo di elasticità trasversale del terreno;  $\nu$  = coefficiente di Poisson del terreno;  $L$  = lunghezza del palo;  $r_0$  = 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<sup>®</sup> versione 7.0.37 (64 bit), realizzato dall'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](http://www.ingegnerianet.it)

## 6 Affidabilità del software

Il sito internet [www.ingegnerianet.it](http://www.ingegnerianet.it) di distribuzione del software Jasp<sup>®</sup> 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.

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 5 -  | Foglio<br>n. 133                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

## 7 Bibliografia

- [1] R. Lancellotta, *Geotecnica*, 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 =9.4 |

#### Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot =9.4)

| N | Descrizione | Classe | Tipo | Classe 2 | Potenza | $\gamma$ | $\varphi'$           | $\varphi'_{cv}$ | Dr  | IC  | c'    | cu    | v | NSPT | OCR | $\Delta\sigma'_p$ | Eed   | CR | RR | CR/RR | FC  |
|---|-------------|--------|------|----------|---------|----------|----------------------|-----------------|-----|-----|-------|-------|---|------|-----|-------------------|-------|----|----|-------|-----|
|   |             |        |      |          |         | [m]      | [kN/m <sup>3</sup> ] | [°]             | [°] | [%] | [kPa] | [kPa] |   |      |     | [kPa]             | [MPa] |    |    |       | [%] |



|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 5 -  | Foglio<br>n. 135                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

4                    1           55968           39068           6.2232           1.8513           0.14998           95867           79           No           0           0

### Parametri strati calcolo portanza

| Piano | Rett.Fond | Drenato | fi' [°] | Strato Inferiore |      |      |         | Strato Superiore |       |      |      |         |
|-------|-----------|---------|---------|------------------|------|------|---------|------------------|-------|------|------|---------|
|       |           |         |         | γ'               | c'   | cu   | potenza | fi' [°]          | γ'    | c'   | cu   | potenza |
|       |           |         |         | [N/m³]           | [Pa] | [Pa] | [m]     | [N/m³]           | [Pa]  | [Pa] | [m]  |         |
| 0     | Plinto 1  | Si      | 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

| Fam | Cmb | Punto di applicazione |        |       | Forza  |        |        |         |         |         | Reagente |       | Press. |
|-----|-----|-----------------------|--------|-------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|----------|-------|--------|
|     |     | x [m]                 | y [m]  | z [m] | Fx [N] | Fy [N] | Fz [N] | Mx [Nm] | My [Nm] | Mz [Nm] | x [m]    | y [m] |        |
|     |     |                       |        |       |        |        |        |         |         |         |          |       | [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<sup>-15</sup>; p=10<sup>-12</sup>; n=10<sup>-9</sup>; μ=10<sup>-6</sup>; m=10<sup>-3</sup>; k=10<sup>3</sup>; M=10<sup>6</sup>; G=10<sup>9</sup>; T=10<sup>12</sup>; P=10<sup>15</sup> (Sistema Internazionale di misura)

### Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno per verifica 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   |
| 1   |     | 4      | 5.822  | 20.906 | 0.278 | 34.3M | 0   | 0   |

**Suffissi:** f=10<sup>-15</sup>; p=10<sup>-12</sup>; n=10<sup>-9</sup>; μ=10<sup>-6</sup>; m=10<sup>-3</sup>; k=10<sup>3</sup>; M=10<sup>6</sup>; G=10<sup>9</sup>; T=10<sup>12</sup>; P=10<sup>15</sup> (Sistema Internazionale di misura)

### Piano 0 Plinto 1 Portanza Drenata

| Fam | Cmb | γ    |       |       |       |       |      |       |       |       |       | c'    |      |       |       |       |       |       |      |       |       | q     |       |  |  |  |      |  |  |  |  |
|-----|-----|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|------|--|--|--|--|
|     |     | 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 | 1.49M | 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 |  |  |  |      |  |  |  |  |



|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 5 -  | Foglio<br>n. 136                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

|   |   |      |       |      |       |       |      |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |
|---|---|------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| 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 | 3 | 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 | 4 | 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 |

**Suffissi:** f=10<sup>-15</sup>; p=10<sup>-12</sup>; n=10<sup>-9</sup>; μ=10<sup>-6</sup>; m=10<sup>-3</sup>; k=10<sup>3</sup>; M=10<sup>6</sup>; G=10<sup>9</sup>; T=10<sup>12</sup>; P=10<sup>15</sup> (Sistema Internazionale di misura)

### Piano 0 Plinto 1 Scorrimento

| Fam | Cmb | H [N] | Drenato |           |        | Non Drenato |  |
|-----|-----|-------|---------|-----------|--------|-------------|--|
|     |     |       | 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 -   | -      | -           |  |

**Suffissi:** f=10<sup>-15</sup>; p=10<sup>-12</sup>; n=10<sup>-9</sup>; μ=10<sup>-6</sup>; m=10<sup>-3</sup>; k=10<sup>3</sup>; M=10<sup>6</sup>; G=10<sup>9</sup>; T=10<sup>12</sup>; P=10<sup>15</sup> (Sistema Internazionale di misura)

### Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico

| z sup | spess. | σ'vo   | σ'p    | Δσv    | Δσv/qN  | σ'f    | CR        | RR        | Δwi        |
|-------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|-----------|-----------|------------|
| [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

| Piano | Fondazione     | Coefficienti SLU |           |        |           | Cedim.Max |       |       |       | Cedim.Diff. |      |            |        |
|-------|----------------|------------------|-----------|--------|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------------|------|------------|--------|
|       |                | 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<br>Si | 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 | 0.434    | 0.007      |      |      | 0.007 | 0.434  |

### Verifiche totali terreno di fondazione

| SLU |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | SLE | Totale |
|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|--------|
|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|--------|

|                                     |   |  |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|--|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   |  | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 5 -  |  | Foglio<br>n. 137                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |  |   |                    |                 |

| Port. | Port.     | Port. | Scorr. | Scorr     | Scorr. | Liquef. | Tot | Ced. max | Ced. diff. | Tot. | Tot. |
|-------|-----------|-------|--------|-----------|--------|---------|-----|----------|------------|------|------|
| Dren. | Non dren. | Tot   | dren.  | non dren. |        |         |     |          |            |      |      |
| Si    | -         | Si    | Si     | -         | Si     | Si      | Si  | Si       | -          | Si   | Si   |

## 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<sup>®</sup> 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).

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 6 -  | Foglio<br>n. 138                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

## 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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 6</b> -   | Foglio<br>n. 139                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> |   |                    |                 |

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 CSLPP 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.

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 6 -  | Foglio<br>n. 140                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

## 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:

$$\gamma_{G1} = 1,3; \quad \gamma_{G2} = 1,5; \quad \gamma_{Qi} = 1,5; \quad \gamma_R = 2,3; \quad \gamma_M = 1,0;$$

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:  $A' = B' \cdot 1m$ );

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

$D$  = profondità del piano di posa;

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

$V$  = carico verticale;

$H$  = carico orizzontale;

$\theta$  = angolo che  $H$  forma con la direzione  $L'$ ;

$R$  = Resistenza totale fondazione;

$c_u$  = Resistenza a taglio non drenata;

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 6 -  | Foglio<br>n. 141                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

$c'$  = Coesione intercetta in termini di tensioni efficaci;

$\phi'$  = Angolo di resistenza a taglio in termini di tensioni efficaci;

$\phi'_{cv}$  = 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:

$$\sigma_c = (2 + \pi)$$

$$\sigma_q = q$$

$$s_c = 1 + 0,2 (B'/L')$$

$$i_c = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} [1 - H/(A'c_u)]^{0,5} \text{ con } H \leq A'c_u$$

$$d_c = 1 + 0,4 \text{ atg}(D/B')$$

dove il coefficiente di profondità  $d_c$  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:

$$R/A' = \sigma_c \cdot N_c \cdot d_c \cdot s_c \cdot i_c + \sigma_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot s_q \cdot i_q + \sigma_\gamma \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma$$

con:

$$\sigma_c = c'$$

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 6 -  | Foglio<br>n. 142                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> |   |                    |                 |

$$\sigma_q = q'$$

$$\sigma_\gamma = 0,5 \gamma' B'$$

e con i valori di progetto dei fattori adimensionali per

- la resistenza portante:

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

$$N_c = (N_q - 1) \operatorname{ctg} \phi'$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \operatorname{tg} \phi'$$

- la forma della fondazione:

$$s_q = 1 + (B'/L') \operatorname{sen} \phi'$$

$$s_c = (s_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1)$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3(B'/L')$$

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

$$d_q = 1 + 2 \operatorname{tg} \phi' (1 - \sin \phi')^2 \operatorname{atg}(D/B')$$

$$d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \cdot \operatorname{tg} \phi')$$

$$d_\gamma = 1$$

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

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

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_c \cdot \tan \phi');$$

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

dove:

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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 6 -  | Foglio<br>n. 143                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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

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

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  $z = B \sin\psi \exp(\psi \operatorname{tg}\phi')$  con  $\psi = 45^\circ + \phi'/2$  ([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  $\gamma_R$  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  $N\gamma$* , è tenuto in conto con l'introduzione di una forza orizzontale aggiuntiva  $H_k = k_{vk} \cdot V$ , 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:

$$\gamma_{G1} = 1,0; \quad \gamma_{G2} = 1,0; \quad \gamma_{Qi} = 1,0; \quad \gamma_R = 1,1; \quad \gamma_M = 1,0$$

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:  $R_d = V \cdot \operatorname{tg} \phi' \cdot c_v / \gamma_R$



|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 6 -  | Foglio<br>n. 144                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> |   |                    |                 |

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)

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

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 sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 6 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 145     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>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 =  $S \cdot ag = S_s \cdot S_t \cdot ag$  (NTC18§3.2.3.2) ;

$\sigma_f = \Delta\sigma_v + \sigma_{v0}$  = 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 rigidità della fondazione e modellando il suolo con un semispazio elastico.

$\sigma'_{v0}$  è la tensione geostatica efficace

$\sigma_{v0}$  è la tensione geostatica totale

$g$  è l'accelerazione di gravità;

$rd = 1 - 0,00765 z$ , per  $z \leq 9.15$  m;

$rd = 1,174 - 0,00267 z$ , per  $9.15 \text{ m} < z \leq 23$  m;

$z$  è la profondità in metri dal piano di campagna;

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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 6 -  | Foglio<br>n. 146                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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) ;

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

$C_N = (100kPa/\sigma'_{v0})^{1/2}$  con  $0,5 \leq C_N \leq 2$ ;

$C_P = 0,75$  per  $z \leq 3m$  e  $C_P = 1$  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)

$\alpha$  e  $\beta$  dipendono dal contenuto di fino FC, con:

- $FC \leq 5\%$ :  $\alpha = 0,0$  ;  $\beta = 1,0$ ;
- $5\% < FC \leq 35\%$ :  $\alpha = \exp[1,76 - (190/FC^2)]$ ;  $\beta = 0,99 + FC^{1,5}/1000$ ;
- $35\% < FC$ :  $\alpha = 5,0$  ;  $\beta = 1,2$ ;

$C_M$  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)]

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

#### 4.4 Cedimenti

La verifica dei cedimenti è fatta con la disuguaglianza:

$$w \leq 50mm$$

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)

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 6 -  | Foglio<br>n. 147                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

- 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

$$\Delta H_i = H_i [ RR \cdot \text{Log}(k_R) + CR \cdot \text{Log}(k_C) ]$$

con:

$$k_R = \min\{\sigma'_p; \sigma'_f\} / \sigma'_{v0}$$

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

$\sigma'_{v0}$  è la tensione geostatica efficace

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

$$\sigma'_f = \Delta\sigma_v + \sigma'_{v0}$$

$$\sigma'_p = \text{tensione di preconsolidazione} = OCR \cdot \sigma'_{v0}$$

dove:

OCR è il rapporto di preconsolidazione.

$H_i$  = spessore dello strato

RR = rapporto di ricomprensione

CR = rapporto di compressione

Per terreni normalconsolidati  $CR = 2,3 \cdot \sigma'_{v0} / E_{ed}$

Per terreni sovraconsolidati  $RR = 2,3 \cdot \sigma'_{v0} / E_{ed}$

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 6 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 148     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |

dove Eed è il modulo edometrico.

Il cedimento totale è calcolato sommando il cedimento di tutti gli strati in cui  $\Delta \sigma'_z > 0,10 \sigma'_{v0}$

$$w = \sum \Delta H_i$$

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 :

$$w = f_s \cdot f_h \cdot f_t \cdot Z_1 \cdot I_c \cdot (\sigma_A/3 + \sigma_B)$$

dove:

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

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

$$\sigma'_p = \text{tensione di preconsolidazione al piano di posa della fondazione} = \text{OCR} \cdot \sigma'_{v0}$$

$$Z_1 = B^{0,7} = \text{profondità di influenza}$$

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

$$I_c = 1,7/N_c^{1,4} = \text{indice di compressibilità}$$

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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 6 -  | Foglio<br>n. 149                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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:

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

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

inoltre:

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

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

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

$f_t = (1,3 + 0,2 \cdot \text{Log}(t/3))$  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

$\Delta w = |w_1 - w_2|$  = 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.

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 6</b> -   | Foglio<br>n. 150                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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.

### 5.2 Carichi 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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 6 -  | Foglio<br>n. 151                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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:

$$N_c = 9;$$

$R_c = 1$  per argille non consistenti (indice di consistenza  $\geq 0,5$ ) ([2] §8.5.1.1 pag 377; [7] §3.1.2.1 pag.76)

$R_c = (D + 0,5)/(2D) \leq 1$  per pali infissi in argille consistenti

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

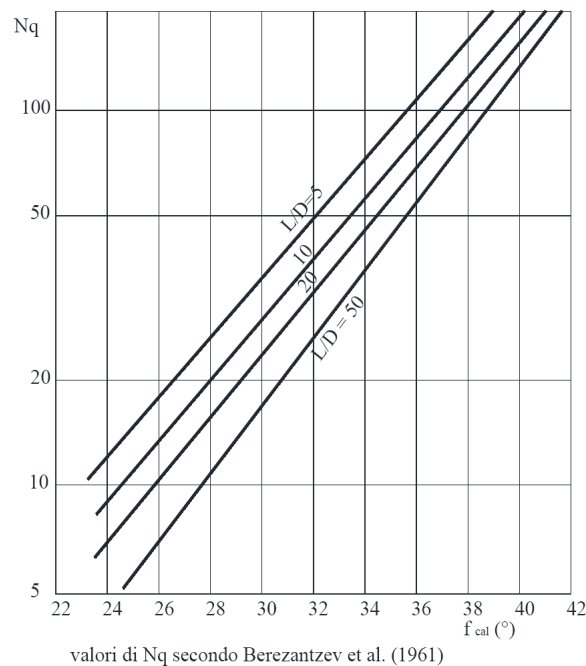
In condizioni drenate la resistenza unitaria alla punta (p) è calcolata con l'equazione:

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

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



|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 6 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> | Foglio<br>n. 152     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |



dove:

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

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

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  $\beta$ ".  
Con questo metodo:

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

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

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 6 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> | Foglio<br>n. 153     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>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)

| Tipo di palo            | K          |            | μ            |
|-------------------------|------------|------------|--------------|
|                         | (Dr = 25%) | (Dr = 75%) |              |
| 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)

$$K = K_0 = (1 - \sin \phi') \cdot \text{OCR}^{0,5}$$

per pali trivellati in argille consistenti (indice di consistenza  $\geq 0,5$ )

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

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  $0,35 \leq \alpha \leq 0,7$

Pali battuti:  $\alpha = 1 - 0,011(c_u - 25)$  , con  $0,5 \leq \alpha \leq 1$

oppure: ([3] §3.1.2.1 pag 75;)

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 6</b> -   | Foglio<br>n. 154                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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) :

$$\alpha = \frac{0,5}{\left(\frac{c_u}{\sigma'_{v0}}\right)^{0,25}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma'_{v0}} \geq 1$$

$$\alpha = \frac{0,5}{\left(\frac{c_u}{\sigma'_{v0}}\right)^{0,5}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma'_{v0}} \leq 1$$

### 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)

$$p_u = 9 c_u \quad \text{per profondità} \geq 3D,$$

$$p_u = c_u [2 + 7z/(3d)] \quad \text{per } z < 3D$$

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:

$\sigma'_v$  = tensione litostatica verticale efficace

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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 6 -  | Foglio<br>n. 155                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

$\phi'$  = 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 §7.6.2.1 punti (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.*

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 6 -  | Foglio<br>n. 156                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

*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

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

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:

$$k_v = 2\pi G/\zeta \quad [\text{N/m}^2] \quad ([8] \text{ §14.1.2 pag 424})$$

$$\text{dove } \zeta = \ln(2.5 \cdot (1-\nu) \cdot L/r_0) \quad ([8] \text{ §14.1.2 pag 425})$$

La costante di elasticità della punta del palo è

$$k_p = 2dE/(1-\nu^2) \quad [\text{N/m}] \quad ([8] \text{ §14.1.2 pag 424})$$

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 6 -  | Foglio<br>n. 157                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> |   |                    |                 |

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:

$\gamma'$  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 sensibili ( $Dr = 75\%$ )

Nelle formule di questo paragrafo:  $G$  = modulo di elasticità trasversale del terreno;  $\nu$  = coefficiente di Poisson del terreno;  $L$  = lunghezza del palo;  $r_0$  = 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<sup>®</sup> versione 7.0.37 (64 bit), realizzato dall'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](http://www.ingegnerianet.it)

## 6 Affidabilità del software

Il sito internet [www.ingegnerianet.it](http://www.ingegnerianet.it) di distribuzione del software Jasp<sup>®</sup> 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.

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 6 -  | Foglio<br>n. 158                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

## 7 Bibliografia

- [1] R. Lancellotta, *Geotecnica*, 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 |

#### Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot =10)

| N | Descrizione | Classe | Tipo | Classe 2 | Potenza | $\gamma$ | $\varphi'$           | $\varphi'_{cv}$ | Dr  | IC  | c'    | cu    | v | NSPT | OCR | $\Delta\sigma'_p$ | Eed   | CR | RR | CR/RR | FC  |
|---|-------------|--------|------|----------|---------|----------|----------------------|-----------------|-----|-----|-------|-------|---|------|-----|-------------------|-------|----|----|-------|-----|
|   |             |        |      |          |         | [m]      | [kN/m <sup>3</sup> ] | [°]             | [°] | [%] | [kPa] | [kPa] |   |      |     | [kPa]             | [MPa] |    |    |       | [%] |





|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 6 -  | Foglio<br>n. 160                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

4                    1            55968            34168            6.1931            1.881            0.13328            95618            79            No            0            0

### Parametri strati calcolo portanza

| Piano | Retto.Fond | Drenato | fi' [°] | Strato Inferiore |      |      |         | Strato Superiore |       |      |      |         |
|-------|------------|---------|---------|------------------|------|------|---------|------------------|-------|------|------|---------|
|       |            |         |         | γ'               | c'   | cu   | potenza | fi' [°]          | γ'    | c'   | cu   | potenza |
|       |            |         |         | [N/m³]           | [Pa] | [Pa] | [m]     |                  |       |      |      |         |
| 0     | Plinto 1   | Si      | 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

| Fam | Cmb | Punto di applicazione |        |       | Forza  |        |        |         |         |         | Reagente |       | Press. |
|-----|-----|-----------------------|--------|-------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|----------|-------|--------|
|     |     | x [m]                 | y [m]  | z [m] | Fx [N] | Fy [N] | Fz [N] | Mx [Nm] | My [Nm] | Mz [Nm] | x [m]    | y [m] |        |
|     |     |                       |        |       |        |        |        |         |         |         |          |       | [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<sup>-15</sup>; p=10<sup>-12</sup>; n=10<sup>-9</sup>; μ=10<sup>-6</sup>; m=10<sup>-3</sup>; k=10<sup>3</sup>; M=10<sup>6</sup>; G=10<sup>9</sup>; T=10<sup>12</sup>; P=10<sup>15</sup> (Sistema Internazionale di misura)

### Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno per verifica 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   |
| 1   |     | 4      | 5.822  | 20.906 | 0.278 | 34.3M | 0   | 0   |

**Suffissi:** f=10<sup>-15</sup>; p=10<sup>-12</sup>; n=10<sup>-9</sup>; μ=10<sup>-6</sup>; m=10<sup>-3</sup>; k=10<sup>3</sup>; M=10<sup>6</sup>; G=10<sup>9</sup>; T=10<sup>12</sup>; P=10<sup>15</sup> (Sistema Internazionale di misura)

### Piano 0 Plinto 1 Portanza Drenata

| Fam | Cmb | γ    |       |       |       |       |      |       |       |       |       | c'    |      |       |       |       |       |       |      |       |       | q     |       |  |  |  |      |  |  |  |  |
|-----|-----|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|------|--|--|--|--|
|     |     | 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 | 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 |  |  |  |      |  |  |  |  |

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 6 -  | Foglio<br>n. 161                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

|   |   |      |       |      |       |       |      |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |
|---|---|------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| 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 | 1.041 | 21.8k | 44.7 | 1.169 | 1.000 | 1.000 | 1.040 |

**Suffissi:** f=10<sup>-15</sup>; p=10<sup>-12</sup>; n=10<sup>-9</sup>; μ=10<sup>-6</sup>; m=10<sup>-3</sup>; k=10<sup>3</sup>; M=10<sup>6</sup>; G=10<sup>9</sup>; T=10<sup>12</sup>; P=10<sup>15</sup> (Sistema Internazionale di misura)

### Piano 0 Plinto 1 Scorrimento

| Fam | Cmb | H [N] | Drenato |           |        | Non Drenato |  |
|-----|-----|-------|---------|-----------|--------|-------------|--|
|     |     |       | 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 -   | -      | -           |  |

**Suffissi:** f=10<sup>-15</sup>; p=10<sup>-12</sup>; n=10<sup>-9</sup>; μ=10<sup>-6</sup>; m=10<sup>-3</sup>; k=10<sup>3</sup>; M=10<sup>6</sup>; G=10<sup>9</sup>; T=10<sup>12</sup>; P=10<sup>15</sup> (Sistema Internazionale di misura)

### Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico

| z sup | spess. | σ'vo   | σ'p    | Δσv    | 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

| Piano | Fondazione     | Coefficienti SLU |           |        |           |         | Cedim.Max |       |       | Cedim.Diff. |       |            | Verif. |
|-------|----------------|------------------|-----------|--------|-----------|---------|-----------|-------|-------|-------------|-------|------------|--------|
|       |                | Port.            | Port.     | Scorr. | Scorrim.  | Liquef. | w         | Coef. | Δw    | Dist.       | Coef. | Fondazione |        |
|       |                | Dren.            | Non Dren. | Dren.  | Non Dren. |         | [mm]      |       | [mm]  | [m]         |       | Confronto  |        |
| 0     | Plinto 1<br>S1 | 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 |        |

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 6 -  | Foglio<br>n. 162                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

### 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. |        |         |     |          |            |        |      |
| Si    | -         | Si    | Si     | -         | Si     | Si      | Si  | Si       | -          | Si     | Si   |

### 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<sup>®</sup> 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).

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 7 -  | Foglio<br>n. 163                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

## 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<sup>®</sup>. Maggiori informazioni riguardanti la modellazione ed il calcolo delle

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 7</b> -   | Foglio<br>n. 164                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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 CSLPP 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.

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 7 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 165     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>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:

$$\gamma_{G1} = 1,3; \quad \gamma_{G2} = 1,5; \quad \gamma_{Qi} = 1,5; \quad \gamma_R = 2,3; \quad \gamma_M = 1,0;$$

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:  $A' = B' \cdot 1m$ );

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

$D$  = profondità del piano di posa;

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

$V$  = carico verticale;

$H$  = carico orizzontale;

$\theta$  = angolo che  $H$  forma con la direzione  $L'$ ;

$R$  = Resistenza totale fondazione;

$c_u$  = Resistenza a taglio non drenata;

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 7 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 166     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |

$c'$  = Coesione intercetta in termini di tensioni efficaci;

$\varphi'$  = Angolo di resistenza a taglio in termini di tensioni efficaci;

$\varphi'_{cv}$  = 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:

$$\sigma_c = (2 + \pi)$$

$$\sigma_q = q$$

$$s_c = 1 + 0,2 (B'/L')$$

$$i_c = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} [1 - H/(A'c_u)]^{0,5} \text{ con } H \leq A'c_u$$

$$d_c = 1 + 0,4 \operatorname{atg}(D/B')$$

dove il coefficiente di profondità  $d_c$  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:

$$R/A' = \sigma_c \cdot N_c \cdot d_c \cdot s_c \cdot i_c + \sigma_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot s_q \cdot i_q + \sigma_\gamma \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma$$

con:

$$\sigma_c = c'$$

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 7 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 167     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |

$$\sigma_q = q'$$

$$\sigma_\gamma = 0,5 \gamma' B'$$

e con i valori di progetto dei fattori adimensionali per

- la resistenza portante:

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

$$N_c = (N_q - 1) \operatorname{ctg} \phi'$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \operatorname{tg} \phi'$$

- la forma della fondazione:

$$s_q = 1 + (B'/L') \operatorname{sen} \phi'$$

$$s_c = (s_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1)$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3(B'/L')$$

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

$$d_q = 1 + 2 \operatorname{tg} \phi' (1 - \sin \phi')^2 \operatorname{atg}(D/B')$$

$$d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \cdot \operatorname{tg} \phi')$$

$$d_\gamma = 1$$

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

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

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_c \cdot \tan \phi');$$

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

dove:

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



|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 7</b> -   | Foglio<br>n. 168                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> |   |                    |                 |

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

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

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  $z = B \sin \psi \exp(\psi \operatorname{tg} \phi')$  con  $\psi = 45^\circ + \phi'/2$  ([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  $\gamma_R$  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  $N\gamma$* , è tenuto in conto con l'introduzione di una forza orizzontale aggiuntiva  $H_k = k_{vk} \cdot V$ , 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:

$$\gamma_{G1} = 1,0; \quad \gamma_{G2} = 1,0; \quad \gamma_{Qi} = 1,0; \quad \gamma_R = 1,1; \quad \gamma_M = 1,0$$

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:  $R_d = V \cdot \operatorname{tg} \phi' \cdot c_v / \gamma_R$

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 7 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 169     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>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)

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

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 sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 7</b> -   | Foglio<br>n. 170                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> |   |                    |                 |

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 =  $S \cdot ag = S_s \cdot S_t \cdot ag$  (NTC18§3.2.3.2) ;

$\sigma_f = \Delta\sigma_v + \sigma_{v0}$  = 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 rigidità della fondazione e modellando il suolo con un semispazio elastico.

$\sigma'_{v0}$  è la tensione geostatica efficace

$\sigma_{v0}$  è la tensione geostatica totale

$g$  è l'accelerazione di gravità;

$rd = 1 - 0,00765 z$ , per  $z \leq 9.15$  m;

$rd = 1,174 - 0,00267 z$ , per  $9.15 \text{ m} < z \leq 23$  m;

$z$  è la profondità in metri dal piano di campagna;

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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 7 -  | Foglio<br>n. 171                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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) ;

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

$C_N = (100kPa/\sigma'_{v0})^{1/2}$  con  $0,5 \leq C_N \leq 2$ ;

$C_P = 0,75$  per  $z \leq 3m$  e  $C_P = 1$  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)

$\alpha$  e  $\beta$  dipendono dal contenuto di fino FC, con:

- $FC \leq 5\%$ :  $\alpha = 0,0$  ;  $\beta = 1,0$ ;
- $5\% < FC \leq 35\%$ :  $\alpha = \exp[1,76 - (190/FC^2)]$ ;  $\beta = 0,99 + FC^{1,5}/1000$ ;
- $35\% < FC$ :  $\alpha = 5,0$  ;  $\beta = 1,2$ ;

$C_M$  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)]

$C_M = (M/7,5)^{-6,47}$  per  $M > 7,5$

#### 4.4 Cedimenti

La verifica dei cedimenti è fatta con la disuguaglianza:

$$w \leq 50mm$$

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)

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 7</b> -   | Foglio<br>n. 172                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

- 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

$$\Delta H_i = H_i [ RR \cdot \text{Log}(k_R) + CR \cdot \text{Log}(k_C) ]$$

con:

$$k_R = \min \{ \sigma'_p ; \sigma'_f \} / \sigma'_{v0}$$

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

$\sigma'_{v0}$  è la tensione geostatica efficace

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

$$\sigma'_f = \Delta \sigma_v + \sigma'_{v0}$$

$$\sigma'_p = \text{tensione di preconsolidazione} = OCR \cdot \sigma'_{v0}$$

dove:

OCR è il rapporto di preconsolidazione.

$H_i$  = spessore dello strato

RR = rapporto di ricomprensione

CR = rapporto di compressione

Per terreni normalconsolidati  $CR = 2,3 \cdot \sigma'_{v0} / E_{ed}$

Per terreni sovraconsolidati  $RR = 2,3 \cdot \sigma'_{v0} / E_{ed}$

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 7 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 173     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |

dove Eed è il modulo edometrico.

Il cedimento totale è calcolato sommando il cedimento di tutti gli strati in cui  $\Delta \sigma'_z > 0,10 \sigma'_{v0}$

$$w = \sum \Delta H_i$$

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 :

$$w = f_s \cdot f_h \cdot f_t \cdot Z_1 \cdot I_c \cdot (\sigma_A/3 + \sigma_B)$$

dove:

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

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

$$\sigma'_p = \text{tensione di preconsolidazione al piano di posa della fondazione} = \text{OCR} \cdot \sigma'_{v0}$$

$$Z_1 = B^{0,7} = \text{profondità di influenza}$$

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

$$I_c = 1,7/N_c^{1,4} = \text{indice di compressibilità}$$

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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 7</b> -   | Foglio<br>n. 174                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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:

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

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

inoltre:

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

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

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

$f_t = (1,3 + 0,2 \cdot \text{Log}(t/3))$  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

$\Delta w = |w_1 - w_2|$  = 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.

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 7</b> -   | Foglio<br>n. 175                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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.

### 5.2 Carichi 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



|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 7</b> -   | Foglio<br>n. 176                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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:

$$N_c = 9;$$

$R_c = 1$  per argille non consistenti (indice di consistenza  $\geq 0,5$ ) ([2] §8.5.1.1 pag 377; [7] §3.1.2.1 pag.76)

$R_c = (D + 0,5)/(2D) \leq 1$  per pali infissi in argille consistenti

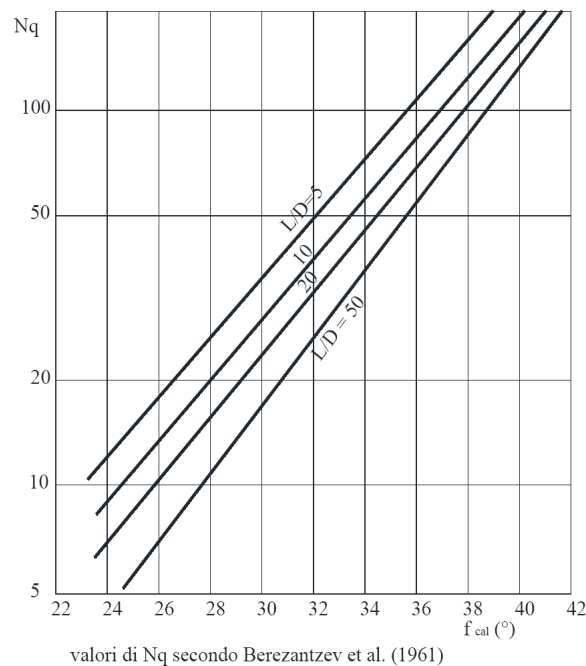
$R_c = (D + 1)/(2D + 1) \leq 1$  per pali trivellati in argille consistenti

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  $N_q$  si utilizzano le curve di Berezantev et al 1961 ([8] §13.1 pag 377; [9] §2.4.2 pag.242)

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 7 -  | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> | Foglio<br>n. 177     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |



dove:

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

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

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  $\beta$ ".  
Con questo metodo:

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

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

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 7 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> | Foglio<br>n. 178     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>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)

| Tipo di palo            | K          |            | μ            |
|-------------------------|------------|------------|--------------|
|                         | (Dr = 25%) | (Dr = 75%) |              |
| 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)

$$K = K_0 = (1 - \sin \phi') \cdot \text{OCR}^{0,5}$$

per pali trivellati in argille consistenti (indice di consistenza  $\geq 0,5$ )

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

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  $0,35 \leq \alpha \leq 0,7$

Pali battuti:  $\alpha = 1 - 0,011(c_u - 25)$  , con  $0,5 \leq \alpha \leq 1$

oppure: ([3] §3.1.2.1 pag 75;)

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 7</b> -   | Foglio<br>n. 179                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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) :

$$\alpha = \frac{0,5}{\left(\frac{c_u}{\sigma'_{v0}}\right)^{0,25}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma'_{v0}} \geq 1$$

$$\alpha = \frac{0,5}{\left(\frac{c_u}{\sigma'_{v0}}\right)^{0,5}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma'_{v0}} \leq 1$$

### 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)

$$p_u = 9 c_u \quad \text{per profondità} \geq 3D,$$

$$p_u = c_u [2 + 7z/(3d)] \quad \text{per } z < 3D$$

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:

$\sigma'_v$  = tensione litostatica verticale efficace

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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 7</b> -   | Foglio<br>n. 180                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

$\phi'$  = 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 §7.6.2.1 punti (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.*

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 7 -  | Foglio<br>n. 181                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

*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

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

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:

$$k_v = 2\pi G/\zeta \quad [N/m^2] \quad ([8] \text{ §14.1.2 pag 424})$$

$$\text{dove } \zeta = \ln(2.5 \cdot (1-\nu) \cdot L/r_0) \quad ([8] \text{ §14.1.2 pag 425})$$

La costante di elasticità della punta del palo è

$$k_p = 2dE/(1-\nu^2) \quad [N/m] \quad ([8] \text{ §14.1.2 pag 424})$$

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 7 -  | Foglio<br>n. 182                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> |   |                    |                 |

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:

$\gamma'$  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 sensibili ( $Dr = 75\%$ )

Nelle formule di questo paragrafo:  $G$  = modulo di elasticità trasversale del terreno;  $\nu$  = coefficiente di Poisson del terreno;  $L$  = lunghezza del palo;  $r_0$  = 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<sup>®</sup> versione 7.0.37 (64 bit), realizzato dall'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](http://www.ingegnerianet.it)

## 6 Affidabilità del software

Il sito internet [www.ingegnerianet.it](http://www.ingegnerianet.it) di distribuzione del software Jasp<sup>®</sup> 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.

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 7 -  | Foglio<br>n. 183                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

## 7 Bibliografia

- [1] R. Lancellotta, *Geotecnica*, 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 |

#### Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot =10)

| N | Descrizione | Classe | Tipo | Classe 2 | Potenza | $\gamma$ | $\varphi'$           | $\varphi'_{cv}$ | Dr  | IC  | c'    | cu    | v | NSPT | OCR | $\Delta\sigma'_p$ | Eed   | CR | RR | CR/RR | FC  |
|---|-------------|--------|------|----------|---------|----------|----------------------|-----------------|-----|-----|-------|-------|---|------|-----|-------------------|-------|----|----|-------|-----|
|   |             |        |      |          |         | [m]      | [kN/m <sup>3</sup> ] | [°]             | [°] | [%] | [kPa] | [kPa] |   |      |     | [kPa]             | [MPa] |    |    |       | [%] |





|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 7 -  | Foglio<br>n. 185                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

4                    1            55968            36368            6.1931            1.881            0.13328            95618            79            No            0            0

### Parametri strati calcolo portanza

| Piano | Rett.Fond | Drenato | fi' [°] | Strato Inferiore |      |       |         | Strato Superiore |       |      |       |         |
|-------|-----------|---------|---------|------------------|------|-------|---------|------------------|-------|------|-------|---------|
|       |           |         |         | γ'               | c'   | cu    | potenza | fi' [°]          | γ'    | c'   | cu    | potenza |
|       |           |         |         | [N/m³]           | [Pa] | [Pa]  | [m]     | [N/m³]           | [Pa]  | [Pa] | [m]   |         |
| 0     | Plinto 1  | Si      | 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

| Fam | Cmb | Punto di applicazione |        |       | Forza  |        |        |         |         |         | Reagente |       | Press. |
|-----|-----|-----------------------|--------|-------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|----------|-------|--------|
|     |     | x [m]                 | y [m]  | z [m] | Fx [N] | Fy [N] | Fz [N] | Mx [Nm] | My [Nm] | Mz [Nm] | x [m]    | y [m] |        |
|     |     |                       |        |       |        |        |        |         |         |         |          |       | [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<sup>-15</sup>; p=10<sup>-12</sup>; n=10<sup>-9</sup>; μ=10<sup>-6</sup>; m=10<sup>-3</sup>; k=10<sup>3</sup>; M=10<sup>6</sup>; G=10<sup>9</sup>; T=10<sup>12</sup>; P=10<sup>15</sup> (Sistema Internazionale di misura)

### Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno per verifica 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   |
| 1   |     | 4      | 5.822  | 20.906 | 0.278 | 34.3M | 0   | 0   |

**Suffissi:** f=10<sup>-15</sup>; p=10<sup>-12</sup>; n=10<sup>-9</sup>; μ=10<sup>-6</sup>; m=10<sup>-3</sup>; k=10<sup>3</sup>; M=10<sup>6</sup>; G=10<sup>9</sup>; T=10<sup>12</sup>; P=10<sup>15</sup> (Sistema Internazionale di misura)

### Piano 0 Plinto 1 Portanza Drenata

| Fam | Cmb | γ    |       |       |       |       |      |       |       |       |       | c'    |      |       |       |       |       |       |      |       |       | q     |       |  |  |  |      |  |  |  |  |
|-----|-----|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|------|--|--|--|--|
|     |     | 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 | 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 |  |  |  |      |  |  |  |  |

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 7 -  | Foglio<br>n. 186                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

|   |   |      |       |      |       |       |      |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |
|---|---|------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 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 |
| 1 | 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 | 1.049 | 19.6k | 22.6 | 1.147 | 1.000 | 1.000 | 1.047 |
| 1 | 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 | 1.049 | 19.6k | 22.6 | 1.147 | 1.000 | 1.000 | 1.047 |

**Suffissi:** f=10<sup>-15</sup>; p=10<sup>-12</sup>; n=10<sup>-9</sup>; μ=10<sup>-6</sup>; m=10<sup>-3</sup>; k=10<sup>3</sup>; M=10<sup>6</sup>; G=10<sup>9</sup>; T=10<sup>12</sup>; P=10<sup>15</sup> (Sistema Internazionale di misura)

### Piano 0 Plinto 1 Scorrimento

| Fam | Cmb | H [N] | Drenato |           |        | Non Drenato |  |
|-----|-----|-------|---------|-----------|--------|-------------|--|
|     |     |       | 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<sup>-15</sup>; p=10<sup>-12</sup>; n=10<sup>-9</sup>; μ=10<sup>-6</sup>; m=10<sup>-3</sup>; k=10<sup>3</sup>; M=10<sup>6</sup>; G=10<sup>9</sup>; T=10<sup>12</sup>; P=10<sup>15</sup> (Sistema Internazionale di misura)

### Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico

| z sup | spess. | σ'vo   | σ'p    | Δσv    | 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

| Piano | Fondazione     | Coefficienti SLU |           |        |           |         | Cedim.Max |       |       | Cedim.Diff. |       |            | Verif. |
|-------|----------------|------------------|-----------|--------|-----------|---------|-----------|-------|-------|-------------|-------|------------|--------|
|       |                | Port.            | Port.     | Scorr. | Scorrim.  | Liquef. | w         | Coef. | Δw    | Dist.       | Coef. | Fondazione |        |
|       |                | Dren.            | Non Dren. | Dren.  | Non Dren. |         | [mm]      |       | [mm]  | [m]         |       | Confronto  |        |
| 0     | Plinto 1<br>S1 | 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 |        |

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 7 -  | Foglio<br>n. 187                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

### 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. |        |         |     |          |            |      |      |        |
| Si    | -         | Si    | Si     | -         | Si     | Si      | Si  | Si       | -          | Si   | Si   |        |

### 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<sup>®</sup> 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).

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 8 -  | Foglio<br>n. 188                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

## 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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 8</b> -   | Foglio<br>n. 189                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> |   |                    |                 |

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 CSLPP 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.

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 8 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 190     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>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:

$$\gamma_{G1} = 1,3; \quad \gamma_{G2} = 1,5; \quad \gamma_{Qi} = 1,5; \quad \gamma_R = 2,3; \quad \gamma_M = 1,0;$$

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:  $A' = B' \cdot 1m$ );

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

$D$  = profondità del piano di posa;

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

$V$  = carico verticale;

$H$  = carico orizzontale;

$\theta$  = angolo che  $H$  forma con la direzione  $L'$ ;

$R$  = Resistenza totale fondazione;

$c_u$  = Resistenza a taglio non drenata;

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 8 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 191     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |

$c'$  = Coesione intercetta in termini di tensioni efficaci;

$\phi'$  = Angolo di resistenza a taglio in termini di tensioni efficaci;

$\phi'_{cv}$  = 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:

$$\sigma_c = (2 + \pi)$$

$$\sigma_q = q$$

$$s_c = 1 + 0,2 (B'/L')$$

$$i_c = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} [1 - H/(A'c_u)]^{0,5} \text{ con } H \leq A'c_u$$

$$d_c = 1 + 0,4 \text{ atg}(D/B')$$

dove il coefficiente di profondità  $d_c$  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:

$$R/A' = \sigma_c \cdot N_c \cdot d_c \cdot s_c \cdot i_c + \sigma_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot s_q \cdot i_q + \sigma_\gamma \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma$$

con:

$$\sigma_c = c'$$



|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 8 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 192     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |

$$\sigma_q = q'$$

$$\sigma_\gamma = 0,5 \gamma' B'$$

e con i valori di progetto dei fattori adimensionali per

- la resistenza portante:

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

$$N_c = (N_q - 1) \operatorname{ctg} \phi'$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \operatorname{tg} \phi'$$

- la forma della fondazione:

$$s_q = 1 + (B'/L') \operatorname{sen} \phi'$$

$$s_c = (s_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1)$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3(B'/L')$$

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

$$d_q = 1 + 2 \operatorname{tg} \phi' (1 - \sin \phi')^2 \operatorname{atg}(D/B')$$

$$d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \cdot \operatorname{tg} \phi')$$

$$d_\gamma = 1$$

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

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

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_c \cdot \tan \phi');$$

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

dove:

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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 8 -  | Foglio<br>n. 193                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> |   |                    |                 |

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

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

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  $z = B \sin \psi \exp(\psi \operatorname{tg} \phi')$  con  $\psi = 45^\circ + \phi'/2$  ([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  $\gamma_R$  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  $N\gamma$* , è tenuto in conto con l'introduzione di una forza orizzontale aggiuntiva  $H_k = k_{vk} \cdot V$ , 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:

$$\gamma_{G1} = 1,0; \quad \gamma_{G2} = 1,0; \quad \gamma_{Qi} = 1,0; \quad \gamma_R = 1,1; \quad \gamma_M = 1,0$$

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:  $R_d = V \cdot \operatorname{tg} \phi' \cdot c_v / \gamma_R$

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 8 -  | Foglio<br>n. 194                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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)

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

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 sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 8</b> -   | Foglio<br>n. 195                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> |   |                    |                 |

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 =  $S \cdot ag = S_s \cdot S_t \cdot ag$  (NTC18§3.2.3.2) ;

$\sigma_f = \Delta\sigma_v + \sigma_{v0}$  = 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 rigidità della fondazione e modellando il suolo con un semispazio elastico.

$\sigma'_{v0}$  è la tensione geostatica efficace

$\sigma_{v0}$  è la tensione geostatica totale

$g$  è l'accelerazione di gravità;

$rd = 1 - 0,00765 z$ , per  $z \leq 9.15$  m;

$rd = 1,174 - 0,00267 z$ , per  $9.15 \text{ m} < z \leq 23$  m;

$z$  è la profondità in metri dal piano di campagna;

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

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 8 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 196     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>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) ;

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

$C_N = (100kPa/\sigma'_{v0})^{1/2}$  con  $0,5 \leq C_N \leq 2$ ;

$C_P = 0,75$  per  $z \leq 3m$  e  $C_P = 1$  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)

$\alpha$  e  $\beta$  dipendono dal contenuto di fino FC, con:

- $FC \leq 5\%$ :  $\alpha = 0,0$  ;  $\beta = 1,0$ ;
- $5\% < FC \leq 35\%$ :  $\alpha = \exp[1,76 - (190/FC^2)]$ ;  $\beta = 0,99 + FC^{1,5}/1000$ ;
- $35\% < FC$ :  $\alpha = 5,0$  ;  $\beta = 1,2$ ;

$C_M$  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)]

$C_M = (M/7,5)^{-6,47}$  per  $M > 7,5$

#### 4.4 Cedimenti

La verifica dei cedimenti è fatta con la disuguaglianza:

$$w \leq 50mm$$

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)

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 8</b> -   | Foglio<br>n. 197                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

- 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

$$\Delta H_i = H_i [ RR \cdot \text{Log}(k_R) + CR \cdot \text{Log}(k_C) ]$$

con:

$$k_R = \min \{ \sigma'_p ; \sigma'_f \} / \sigma'_{v0}$$

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

$\sigma'_{v0}$  è la tensione geostatica efficace

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

$$\sigma'_f = \Delta\sigma_v + \sigma'_{v0}$$

$$\sigma'_p = \text{tensione di preconsolidazione} = OCR \cdot \sigma'_{v0}$$

dove:

OCR è il rapporto di preconsolidazione.

$H_i$  = spessore dello strato

RR = rapporto di ricomprensione

CR = rapporto di compressione

Per terreni normalconsolidati  $CR = 2,3 \cdot \sigma'_{v0} / E_{ed}$

Per terreni sovraconsolidati  $RR = 2,3 \cdot \sigma'_{v0} / E_{ed}$

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 8 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 198     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |

dove Eed è il modulo edometrico.

Il cedimento totale è calcolato sommando il cedimento di tutti gli strati in cui  $\Delta \sigma'_z > 0,10 \sigma'_{v0}$

$$w = \sum \Delta H_i$$

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 :

$$w = f_s \cdot f_h \cdot f_t \cdot Z_1 \cdot I_c \cdot (\sigma_A/3 + \sigma_B)$$

dove:

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

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

$$\sigma'_p = \text{tensione di preconsolidazione al piano di posa della fondazione} = \text{OCR} \cdot \sigma'_{v0}$$

$$Z_1 = B^{0,7} = \text{profondità di influenza}$$

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

$$I_c = 1,7/N_c^{1,4} = \text{indice di compressibilità}$$

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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 8</b> -   | Foglio<br>n. 199                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> |   |                    |                 |

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:

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

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

inoltre:

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

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

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

$f_t = (1,3 + 0,2 \cdot \text{Log}(t/3))$  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

$\Delta w = |w_1 - w_2|$  = 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.



|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 8</b> -   | Foglio<br>n. 200                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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 rigidità 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.

### 5.2 Carichi 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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 8 -  | Foglio<br>n. 201                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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:

$$N_c = 9;$$

$R_c = 1$  per argille non consistenti (indice di consistenza  $\geq 0,5$ ) ([2] §8.5.1.1 pag 377; [7] §3.1.2.1 pag.76)

$R_c = (D + 0,5)/(2D) \leq 1$  per pali infissi in argille consistenti

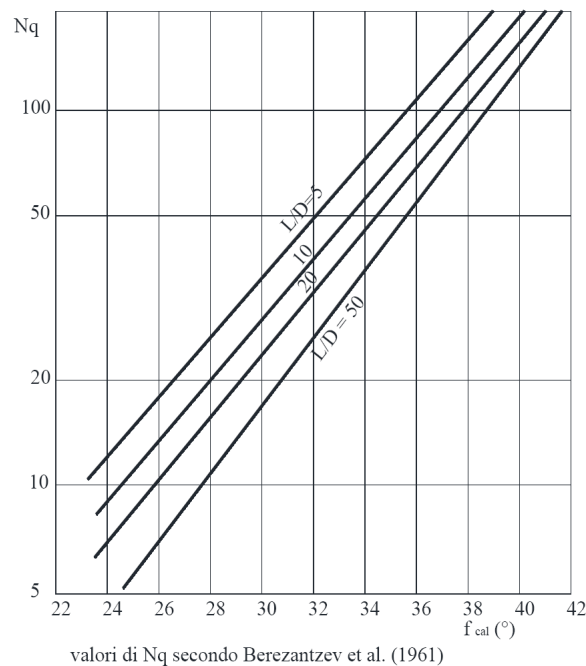
$R_c = (D + 1)/(2D + 1) \leq 1$  per pali trivellati in argille consistenti

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  $N_q$  si utilizzano le curve di Berezantev et al 1961 ([8] §13.1 pag 377; [9] §2.4.2 pag.242)

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 8 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA - IMPIANTO<br/>DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 202     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |



dove:

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

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

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  $\beta$ ".  
Con questo metodo:

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

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

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 8 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> | Foglio<br>n. 203     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>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)

| Tipo di palo            | K          |            | μ            |
|-------------------------|------------|------------|--------------|
|                         | (Dr = 25%) | (Dr = 75%) |              |
| 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)

$$K = K_0 = (1 - \sin \phi') \cdot \text{OCR}^{0,5}$$

per pali trivellati in argille consistenti (indice di consistenza  $\geq 0,5$ )

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

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  $0,35 \leq \alpha \leq 0,7$

Pali battuti:  $\alpha = 1 - 0,011(c_u - 25)$  , con  $0,5 \leq \alpha \leq 1$

oppure: ([3] §3.1.2.1 pag 75;)

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 8</b> -   | Foglio<br>n. 204                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> |   |                    |                 |

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) :

$$\alpha = \frac{0,5}{\left(\frac{c_u}{\sigma'_{v0}}\right)^{0,25}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma'_{v0}} \geq 1$$

$$\alpha = \frac{0,5}{\left(\frac{c_u}{\sigma'_{v0}}\right)^{0,5}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma'_{v0}} \leq 1$$

### 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)

$$p_u = 9 c_u \quad \text{per profondità} \geq 3D,$$

$$p_u = c_u [2 + 7z/(3d)] \quad \text{per } z < 3D$$

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:

$\sigma'_v$  = tensione litostatica verticale efficace

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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 8 -  | Foglio<br>n. 205                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

$\phi'$  = 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 §7.6.2.1 punti (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.*

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 8 -  | Foglio<br>n. 206                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

*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

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

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:

$$k_v = 2\pi G/\zeta \quad [N/m^2] \quad ([8] \text{ §14.1.2 pag 424})$$

$$\text{dove } \zeta = \ln(2.5 \cdot (1-\nu) \cdot L/r_0) \quad ([8] \text{ §14.1.2 pag 425})$$

La costante di elasticità della punta del palo è

$$k_p = 2dE/(1-\nu^2) \quad [N/m] \quad ([8] \text{ §14.1.2 pag 424})$$

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 8 -  | Foglio<br>n. 207                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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:

$\gamma'$  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 sensibili ( $Dr = 75\%$ )

Nelle formule di questo paragrafo:  $G$  = modulo di elasticità trasversale del terreno;  $\nu$  = coefficiente di Poisson del terreno;  $L$  = lunghezza del palo;  $r_0$  = 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<sup>®</sup> versione 7.0.37 (64 bit), realizzato dall'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](http://www.ingegnerianet.it)

## 6 Affidabilità del software

Il sito internet [www.ingegnerianet.it](http://www.ingegnerianet.it) di distribuzione del software Jasp<sup>®</sup> 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.



|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 8 -  | Foglio<br>n. 208                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

## 7 Bibliografia

- [1] R. Lancellotta, *Geotecnica*, 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 =11 |

#### Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot =11)

| N | Descrizione | Classe | Tipo | Classe 2 | Potenza | $\gamma$ | $\varphi'$           | $\varphi'_{cv}$ | Dr  | IC  | c'    | cu    | v | NSPT | OCR | $\Delta\sigma'_p$ | Eed   | CR | RR | CR/RR | FC  |
|---|-------------|--------|------|----------|---------|----------|----------------------|-----------------|-----|-----|-------|-------|---|------|-----|-------------------|-------|----|----|-------|-----|
|   |             |        |      |          |         | [m]      | [kN/m <sup>3</sup> ] | [°]             | [°] | [%] | [kPa] | [kPa] |   |      |     | [kPa]             | [MPa] |    |    |       | [%] |

|  |  |   |  |  |   |  |  |   |
|--|--|---|--|--|---|--|--|---|
| <p style="text-align: center;"><b>SCS10 S.R.L.</b></p> | <p style="text-align: center;">Tipo di documento:<br/><b>Relazione geotecnica</b></p> <p style="text-align: center;"><b>- Aerogeneratore 8 -</b></p> |   |  |  | <p style="text-align: center;">Codice documento:<br/><b>R_15_EO_SCS10</b></p> |  |  |   |
|  | <p style="text-align: center;">Studio Tecnico<br/>Ing. Angelo Volpe</p>  | <p style="text-align: center;">Titolo sintetico:<br/><b>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</b></p> |  |  |   | <p style="text-align: center;">Foglio<br/>n. 209</p> | <p style="text-align: center;">Data<br/>20/07/2022</p> | <p style="text-align: center;">Revisione<br/>00</p> |

|   |                       |      |      |           |     |      |       |           |    |     |      |    |      |    |       |      |   |
|---|-----------------------|------|------|-----------|-----|------|-------|-----------|----|-----|------|----|------|----|-------|------|---|
| 1 | vegetale              | limo | fine | argillosa | 0   | 1    | 0     | 04.9E-324 | 0  | 0   | 0    | 0  | 0    | 1  | 0.001 | 0    | 0 |
| 2 | Deposito sabbioso li. | limo | fine | argillosa | 6.6 | 16.5 | 29.23 | 29.23     | 50 | 0.4 | 2    | 53 | 0.34 | 30 | 1     | 1895 | 8 |
| 3 | Ghiaioso sabbioso de. | limo | fine | argillosa | 4.4 | 21.6 | 26    | 26        | 50 | 0.4 | 27.1 | 20 | 0.35 | 30 | 1     | 4942 | 8 |

### Opzioni verifica terreni

| N | Descrizione | Portanza | Portanza  | Scorr.  | Scorr.    | Liquef. | cedimenti  | ced. Burl. | H compr.    | ced. Max | d/Δw | k Amplif. |
|---|-------------|----------|-----------|---------|-----------|---------|------------|------------|-------------|----------|------|-----------|
|   |             | Drenata  | Non Dren. | Drenato | Non Dren. |         | Edometrici | Burbidge   | Bur-Bur [m] | [m]      |      | Sisma     |
| 1 | Opz.A       | auto     | auto      | auto    | auto      | auto    | auto       | auto       | auto        | auto     | auto | auto      |

### Suoli di posa fondazioni

| N | Descrizione | kw Trasv./kw | kw Ass./kw | Stratigrafia | Opzioni Verifiche | Prof. di | H sbanc. | H riporto  | γ riporto  |               |
|---|-------------|--------------|------------|--------------|-------------------|----------|----------|------------|------------|---------------|
|   |             |              |            |              |                   | Terreno  | posa [m] | later. [m] | Later. [m] | Later.[kN/m³] |
| 1 | Posa A      | 0.5          | 0.1        | 1) Tipo A    | 1) Opz.A          | 1        | 0        | 0          | 14         |               |

## Verifiche fondazioni dirette

### Rettagoli di fondazione

| Fondazione | Dimensione  |            |      |      |            |       | P.centro |     |      |
|------------|-------------|------------|------|------|------------|-------|----------|-----|------|
| Piano      | Descrizione | Suolo Posa | B    | L    | Area calc. | Rotaz | x        | y   | z    |
|            |             |            | [m]  | [m]  | [m²]       | [°]   | [m]      | [m] | [m]  |
| 0          | Plinto 1    | 1) Posa A  | 21.8 | 21.8 | 475.24     | 0     | 0        | 0   | -3.4 |

### Inviluppo forze su 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    |
| 0     | Plinto 1         | 4) Quasi Perm.  | 0      | 0      | -26.6M | 10.2M   | 183M    | 159M    | 0      | 0      | -26.6M | 10.2M   | 183M    | 159M    |

**Suffissi:** f=10<sup>-15</sup>; p=10<sup>-12</sup>; n=10<sup>-9</sup>; μ=10<sup>-6</sup>; m=10<sup>-3</sup>; k=10<sup>3</sup>; M=10<sup>6</sup>; G=10<sup>9</sup>; T=10<sup>12</sup>; P=10<sup>15</sup> (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] |
| 0     | Plinto 1   | 4   | 1   | 55968 | 39468 | 16500 | 0.28612 | 195.61  |

### Verifiche Liquefazione

| Fam | Cmb | q    | qN   | Magnitudo | CM | agS | pa   | Δ falda | sabbia | LPI | coef.  |
|-----|-----|------|------|-----------|----|-----|------|---------|--------|-----|--------|
|     |     | [Pa] | [Pa] |           |    | [g] | [Pa] | [m]     |        |     | verif. |

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 8 -  | Foglio<br>n. 210                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

4                    1            55968            39468            6.1931            1.881            0.13328            95618            79            No            0            0

### Parametri strati calcolo portanza

| Piano | Rett.Fond | Drenato | fi' [°] | Strato Inferiore |      |       |         | Strato Superiore |       |      |       |         |
|-------|-----------|---------|---------|------------------|------|-------|---------|------------------|-------|------|-------|---------|
|       |           |         |         | γ'               | c'   | cu    | potenza | fi' [°]          | γ'    | c'   | cu    | potenza |
|       |           |         |         | [N/m³]           | [Pa] | [Pa]  | [m]     | [N/m³]           | [Pa]  | [Pa] | [m]   |         |
| 0     | Plinto 1  | Si      | 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 di applicazione |     |       | 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<sup>-15</sup>; p=10<sup>-12</sup>; n=10<sup>-9</sup>; μ=10<sup>-6</sup>; m=10<sup>-3</sup>; k=10<sup>3</sup>; M=10<sup>6</sup>; G=10<sup>9</sup>; T=10<sup>12</sup>; P=10<sup>15</sup> (Sistema Internazionale di misura)

### Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno per verifica 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   |
| 1   |     | 4      | 5.822  | 20.906 | 0.278 | 34.3M | 0   | 0   |

**Suffissi:** f=10<sup>-15</sup>; p=10<sup>-12</sup>; n=10<sup>-9</sup>; μ=10<sup>-6</sup>; m=10<sup>-3</sup>; k=10<sup>3</sup>; M=10<sup>6</sup>; G=10<sup>9</sup>; T=10<sup>12</sup>; P=10<sup>15</sup> (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]  |       |      |       |       |       |       |  |
| 1   | 1   | 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 |  |





|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 9 -  | Foglio<br>n. 213                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

## 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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 9</b> -   | Foglio<br>n. 214                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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 CSLPP 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.

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 9 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 215     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>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:

$$\gamma_{G1} = 1,3; \quad \gamma_{G2} = 1,5; \quad \gamma_{Qi} = 1,5; \quad \gamma_R = 2,3; \quad \gamma_M = 1,0;$$

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:  $A' = B' \cdot 1m$ );

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

$D$  = profondità del piano di posa;

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

$V$  = carico verticale;

$H$  = carico orizzontale;

$\theta$  = angolo che  $H$  forma con la direzione  $L'$ ;

$R$  = Resistenza totale fondazione;

$c_u$  = Resistenza a taglio non drenata;



|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 9 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 216     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |

$c'$  = Coesione intercetta in termini di tensioni efficaci;

$\phi'$  = Angolo di resistenza a taglio in termini di tensioni efficaci;

$\phi'_{cv}$  = 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:

$$\sigma_c = (2 + \pi)$$

$$\sigma_q = q$$

$$s_c = 1 + 0,2 (B'/L')$$

$$i_c = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} [1 - H/(A'c_u)]^{0,5} \text{ con } H \leq A'c_u$$

$$d_c = 1 + 0,4 \text{ atg}(D/B')$$

dove il coefficiente di profondità  $d_c$  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:

$$R/A' = \sigma_c \cdot N_c \cdot d_c \cdot s_c \cdot i_c + \sigma_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot s_q \cdot i_q + \sigma_\gamma \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma$$

con:

$$\sigma_c = c'$$

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 9 -  | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 217     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |

$$\sigma_q = q'$$

$$\sigma_\gamma = 0,5 \gamma' B'$$

e con i valori di progetto dei fattori adimensionali per

- la resistenza portante:

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

$$N_c = (N_q - 1) \operatorname{ctg} \phi'$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \operatorname{tg} \phi'$$

- la forma della fondazione:

$$s_q = 1 + (B'/L') \operatorname{sen} \phi'$$

$$s_c = (s_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1)$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3(B'/L')$$

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

$$d_q = 1 + 2 \operatorname{tg} \phi' (1 - \sin \phi')^2 \operatorname{atg}(D/B')$$

$$d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \cdot \operatorname{tg} \phi')$$

$$d_\gamma = 1$$

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

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

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_c \cdot \tan \phi');$$

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

dove:

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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 9 -  | Foglio<br>n. 218                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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

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

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  $z = B \sin \psi \exp(\psi \operatorname{tg} \phi')$  con  $\psi = 45^\circ + \phi'/2$  ([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  $\gamma_R$  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  $N\gamma$* , è tenuto in conto con l'introduzione di una forza orizzontale aggiuntiva  $H_k = k_{vk} \cdot V$ , 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:

$$\gamma_{G1} = 1,0; \quad \gamma_{G2} = 1,0; \quad \gamma_{Qi} = 1,0; \quad \gamma_R = 1,1; \quad \gamma_M = 1,0$$

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:  $R_d = V \cdot \operatorname{tg} \phi' \cdot c_v / \gamma_R$

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 9 -  | Foglio<br>n. 219                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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)

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

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 sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 9</b> -   | Foglio<br>n. 220                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> |   |                    |                 |

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 =  $S \cdot ag = S_s \cdot S_t \cdot ag$  (NTC18§3.2.3.2) ;

$\sigma_f = \Delta\sigma_v + \sigma_{v0}$  = 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 rigidità della fondazione e modellando il suolo con un semispazio elastico.

$\sigma'_{v0}$  è la tensione geostatica efficace

$\sigma_{v0}$  è la tensione geostatica totale

$g$  è l'accelerazione di gravità;

$rd = 1 - 0,00765 z$ , per  $z \leq 9.15$  m;

$rd = 1,174 - 0,00267 z$ , per  $9.15 \text{ m} < z \leq 23$  m;

$z$  è la profondità in metri dal piano di campagna;

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

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 9 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 221     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>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) ;

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

$C_N = (100kPa/\sigma'_{v0})^{1/2}$  con  $0,5 \leq C_N \leq 2$ ;

$C_P = 0,75$  per  $z \leq 3m$  e  $C_P = 1$  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)

$\alpha$  e  $\beta$  dipendono dal contenuto di fino FC, con:

- $FC \leq 5\%$ :  $\alpha = 0,0$  ;  $\beta = 1,0$ ;
- $5\% < FC \leq 35\%$ :  $\alpha = \exp[1,76 - (190/FC^2)]$ ;  $\beta = 0,99 + FC^{1,5}/1000$ ;
- $35\% < FC$ :  $\alpha = 5,0$  ;  $\beta = 1,2$ ;

$C_M$  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)]

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

#### 4.4 Cedimenti

La verifica dei cedimenti è fatta con la disuguaglianza:

$$w \leq 50mm$$

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)

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 9 -  | Foglio<br>n. 222                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

- 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

$$\Delta H_i = H_i [ RR \cdot \text{Log}(k_R) + CR \cdot \text{Log}(k_C) ]$$

con:

$$k_R = \min \{ \sigma'_p ; \sigma'_f \} / \sigma'_{v0}$$

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

$\sigma'_{v0}$  è la tensione geostatica efficace

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

$$\sigma'_f = \Delta\sigma_v + \sigma'_{v0}$$

$$\sigma'_p = \text{tensione di preconsolidazione} = OCR \cdot \sigma'_{v0}$$

dove:

OCR è il rapporto di preconsolidazione.

$H_i$  = spessore dello strato

RR = rapporto di ricomprensione

CR = rapporto di compressione

Per terreni normalconsolidati  $CR = 2,3 \cdot \sigma'_{v0} / E_{ed}$

Per terreni sovraconsolidati  $RR = 2,3 \cdot \sigma'_{v0} / E_{ed}$

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 9 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 223     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |

dove Eed è il modulo edometrico.

Il cedimento totale è calcolato sommando il cedimento di tutti gli strati in cui  $\Delta \sigma'_z > 0,10 \sigma'_{v0}$

$$w = \sum \Delta H_i$$

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 :

$$w = f_s \cdot f_h \cdot f_t \cdot Z_1 \cdot I_c \cdot (\sigma_A/3 + \sigma_B)$$

dove:

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

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

$$\sigma'_p = \text{tensione di preconsolidazione al piano di posa della fondazione} = \text{OCR} \cdot \sigma'_{v0}$$

$$Z_1 = B^{0,7} = \text{profondità di influenza}$$

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

$$I_c = 1,7/N_c^{1,4} = \text{indice di compressibilità}$$

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



|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 9 -  | Foglio<br>n. 224                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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:

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

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

inoltre:

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

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

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

$f_t = (1,3 + 0,2 \cdot \text{Log}(t/3))$  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

$\Delta w = |w_1 - w_2|$  = 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.

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 9</b> -   | Foglio<br>n. 225                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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 rigidità 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.

### 5.2 Carichi 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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 9 -</b>   | Foglio<br>n. 226                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA – IMPIANTO<br/>DENOMINATO “ALTAMURA” UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> |   |                    |                 |

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:

$$N_c = 9;$$

$R_c = 1$  per argille non consistenti (indice di consistenza  $\geq 0,5$ ) ([2] §8.5.1.1 pag 377; [7] §3.1.2.1 pag.76)

$R_c = (D + 0,5)/(2D) \leq 1$  per pali infissi in argille consistenti

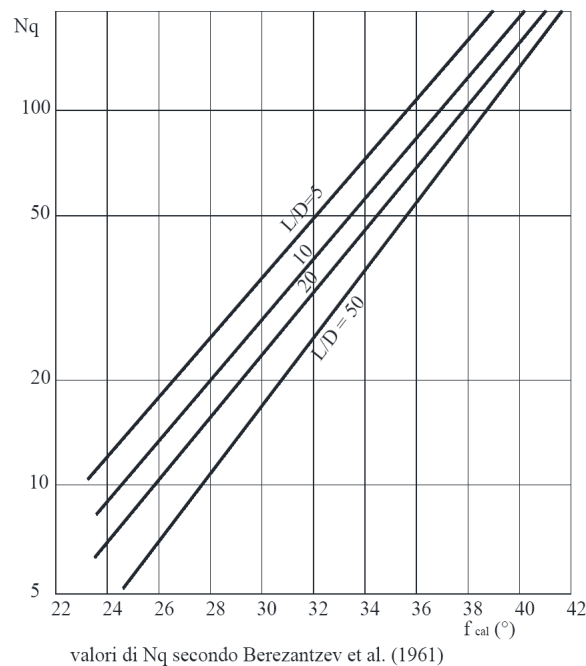
$R_c = (D + 1)/(2D + 1) \leq 1$  per pali trivellati in argille consistenti

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  $N_q$  si utilizzano le curve di Berezantev et al 1961 ([8] §13.1 pag 377; [9] §2.4.2 pag.242)

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 9 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA - IMPIANTO<br/>DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 227     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |



dove:

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

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

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  $\beta$ ".  
Con questo metodo:

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

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

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 9 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> | Foglio<br>n. 228     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>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)

| Tipo di palo            | K          |            | μ            |
|-------------------------|------------|------------|--------------|
|                         | (Dr = 25%) | (Dr = 75%) |              |
| 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)

$$K = K_0 = (1 - \sin \phi') \cdot \text{OCR}^{0,5}$$

per pali trivellati in argille consistenti (indice di consistenza  $\geq 0,5$ )

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

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  $0,35 \leq \alpha \leq 0,7$

Pali battuti:  $\alpha = 1 - 0,011(c_u - 25)$  , con  $0,5 \leq \alpha \leq 1$

oppure: ([3] §3.1.2.1 pag 75;)

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - <b>Aerogeneratore 9</b> -   | Foglio<br>n. 229                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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) :

$$\alpha = \frac{0,5}{\left(\frac{c_u}{\sigma'_{v0}}\right)^{0,25}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma'_{v0}} \geq 1$$

$$\alpha = \frac{0,5}{\left(\frac{c_u}{\sigma'_{v0}}\right)^{0,5}} \quad \text{se } \frac{c_u}{\sigma'_{v0}} \leq 1$$

### 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)

$$p_u = 9 c_u \quad \text{per profondità} \geq 3D,$$

$$p_u = c_u [2 + 7z/(3d)] \quad \text{per } z < 3D$$

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:

$\sigma'_v$  = tensione litostatica verticale efficace

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

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 9 -  | Foglio<br>n. 230                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

$\phi'$  = 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 §7.6.2.1 punti (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.*

|                                     |   |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:    |                    |                 |
|                                     | <b>- Aerogeneratore 9 -</b>   | <b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> | Foglio<br>n. 231     | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>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

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

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:

$$k_v = 2\pi G/\zeta \quad [N/m^2] \quad ([8] \text{ §14.1.2 pag 424})$$

$$\text{dove } \zeta = \ln(2.5 \cdot (1-\nu) \cdot L/r_0) \quad ([8] \text{ §14.1.2 pag 425})$$

La costante di elasticità della punta del palo è

$$k_p = 2dE/(1-\nu^2) \quad [N/m] \quad ([8] \text{ §14.1.2 pag 424})$$



|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 9 -  | Foglio<br>n. 232                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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:

$\gamma'$  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 sensibili ( $Dr = 75\%$ )

Nelle formule di questo paragrafo:  $G$  = modulo di elasticità trasversale del terreno;  $\nu$  = coefficiente di Poisson del terreno;  $L$  = lunghezza del palo;  $r_0$  = 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<sup>®</sup> versione 7.0.37 (64 bit), realizzato dall'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](http://www.ingegnerianet.it)

## 6 Affidabilità del software

Il sito internet [www.ingegnerianet.it](http://www.ingegnerianet.it) di distribuzione del software Jasp<sup>®</sup> 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.

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 9 -  | Foglio<br>n. 233                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

## 7 Bibliografia

- [1] R. Lancellotta, *Geotecnica*, 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 |

#### Strati stratigrafia Tipo A (3 strati: Htot =10)

| N | Descrizione | Classe | Tipo | Classe 2 | Potenza | $\gamma$ | $\varphi'$           | $\varphi'_{cv}$ | Dr  | IC  | c'    | cu    | v | NSPT | OCR | $\Delta\sigma'_p$ | Eed   | CR | RR | CR/RR | FC  |
|---|-------------|--------|------|----------|---------|----------|----------------------|-----------------|-----|-----|-------|-------|---|------|-----|-------------------|-------|----|----|-------|-----|
|   |             |        |      |          |         | [m]      | [kN/m <sup>3</sup> ] | [°]             | [°] | [%] | [kPa] | [kPa] |   |      |     | [kPa]             | [MPa] |    |    |       | [%] |



|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 9 -  | Foglio<br>n. 235                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

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  | Si      | 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 |     |       |        |       |        | 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<sup>-15</sup>; p=10<sup>-12</sup>; n=10<sup>-9</sup>; μ=10<sup>-6</sup>; m=10<sup>-3</sup>; k=10<sup>3</sup>; M=10<sup>6</sup>; G=10<sup>9</sup>; T=10<sup>12</sup>; P=10<sup>15</sup> (Sistema Internazionale di misura)

### Piano 0 Plinto 1 Reazione terreno per verifica 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   |
| 1   |     | 4     | 5.822 | 20.906 | 0.278 | 34.3M | 0   | 0   |

**Suffissi:** f=10<sup>-15</sup>; p=10<sup>-12</sup>; n=10<sup>-9</sup>; μ=10<sup>-6</sup>; m=10<sup>-3</sup>; k=10<sup>3</sup>; M=10<sup>6</sup>; G=10<sup>9</sup>; T=10<sup>12</sup>; P=10<sup>15</sup> (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 | 0.452 | 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 |  |

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 9 -  | Foglio<br>n. 236                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

|   |   |      |       |      |       |       |      |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |
|---|---|------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 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 |
| 1 | 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 |
| 1 | 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<sup>-15</sup>; p=10<sup>-12</sup>; n=10<sup>-9</sup>; μ=10<sup>-6</sup>; m=10<sup>-3</sup>; k=10<sup>3</sup>; M=10<sup>6</sup>; G=10<sup>9</sup>; T=10<sup>12</sup>; P=10<sup>15</sup> (Sistema Internazionale di misura)

### Piano 0 Plinto 1 Scorrimento

| Fam | Cmb | H [N] | Drenato |           |        | Non Drenato |  |
|-----|-----|-------|---------|-----------|--------|-------------|--|
|     |     |       | Rd [N]  | coefVerif | Rd [N] | coefVerif   |  |
| 1   | 1   | 0     | 17.9M   | 0.000 -   | -      | -           |  |
| 1   | 2   | 0     | 17.9M   | 0.000 -   | -      | -           |  |
| 1   | 3   | 0     | 17.9M   | 0.000 -   | -      | -           |  |
| 1   | 4   | 0     | 17.9M   | 0.000 -   | -      | -           |  |

**Suffissi:** f=10<sup>-15</sup>; p=10<sup>-12</sup>; n=10<sup>-9</sup>; μ=10<sup>-6</sup>; m=10<sup>-3</sup>; k=10<sup>3</sup>; M=10<sup>6</sup>; G=10<sup>9</sup>; T=10<sup>12</sup>; P=10<sup>15</sup> (Sistema Internazionale di misura)

### Piano 0 Plinto 1 Calcolo cedimenti edometrico

| z sup | spess. | σ'vo   | σ'p    | Δσv    | 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

| Piano | Fondazione     | Coefficienti SLU |           |        |           |         | Cedim.Max |       |       | Cedim.Diff. |       |            | Verif. |
|-------|----------------|------------------|-----------|--------|-----------|---------|-----------|-------|-------|-------------|-------|------------|--------|
|       |                | Port.            | Port.     | Scorr. | Scorrim.  | Liquef. | w         | Coef. | Δw    | Dist.       | Coef. | Fondazione |        |
|       |                | Dren.            | Non Dren. | Dren.  | Non Dren. |         | [mm]      |       | [mm]  | [m]         |       | Confronto  |        |
| 0     | Plinto 1<br>S1 | 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 |        |

|                                     |   |   |                    |                 |
|-------------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b>                 | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b>   | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b> |                    |                 |
|                                     | - Aerogeneratore 9 -  | Foglio<br>n. 237                          | Data<br>20/07/2022 | Revisione<br>00 |
| Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe | Titolo sintetico:<br><b>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</b> |   |                    |                 |

### 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. |        |         |     |          |            |      |      |        |
| Si    | -         | Si    | Si     | -         | Si     | Si      | Si  | Si       | -          | Si   | Si   |        |

### 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<sup>®</sup> 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).

|                     |   |   |                  |                    |
|---------------------|---|---|------------------|--------------------|
| <b>SCS10 S.R.L.</b> | Tipo di documento:<br><b>Relazione geotecnica</b> | Codice documento:<br><b>R_15_EO_SCS10</b>   |                  |                    |
|                     | Studio Tecnico<br>Ing. Angelo Volpe               | Titolo sintetico:<br><b>C COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN<br/>IMPIANTO DI PRODUZIONE<br/>DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE<br/>EOLICA AVENTE POTENZA IN<br/>IMMISSIONE PARI A 54 MW<br/>COSTITUITO DA 9 AEROGENERATORI<br/>DI POTENZA PARI A 6 MW CON<br/>RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA<br/>RETE ELETTRICA - IMPIANTO<br/>DENOMINATO "ALTAMURA" UBICATO<br/>NEL COMUNE DI ALTAMURA E<br/>SANTERAMO IN COLLE</b> | Foglio<br>n. 238 | Data<br>20/07/2022 |

## 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



Ing. Volpe Angelo

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Volpe Angelo", written over the right side of the professional stamp.