



# UNIVERSITÀ DI PARMA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica LM-33

Progettazione Integrata e Sviluppo Virtuale di Prodotti Meccanici

## Progettazione di una trasmissione COMER

### Docenti:

Prof. Gianni Nicoletto  
Prof. Fabrizio Moroni  
Prof. Claudio Favi

### Relazione di:

Andrea Sokol  
Daniele Berini  
Valentina Bo  
Mattia Cavalli

Anno accademico 2021/22

# Indice

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| <b>1</b> | <b>Introduzione</b>   | <b>9</b>   |
| 1.1      | Dati di progetto . . . . .  | 9          |
| <b>2</b> | <b>Dimensionamento ingranaggi</b>   | <b>10</b>  |
| 2.1      | Geometria delle ruote . . . . .   | 10         |
| 2.2      | Geometria del dente . . . . .   | 12         |
| 2.3      | Sollecitazioni . . . . .  | 13         |
| 2.3.1    | Flessione alla base del dente - Bending . . . . .                                   | 14         |
| 2.3.2    | Pressioni di contatto sul fianco del dente - Pitting . . . . .                      | 14         |
| 2.3.3    | Strisciamento . . . . .   | 15         |
| 2.4      | Failure modes . . . . .   | 16         |
| 2.4.1    | Bending . . . . .   | 16         |
| 2.4.2    | Pitting . . . . .   | 16         |
| 2.4.3    | Micropitting . . . . .  | 16         |
| 2.4.4    | Scuffing . . . . .  | 17         |
| <b>3</b> | <b>Progettazione</b>  | <b>17</b>  |
| 3.1      | Dati di progetto . . . . .  | 17         |
| 3.2      | Dimensionamento preliminare . . . . .   | 18         |
| 3.3      | Dimensionamento tramite software KissSoft . . . . .                                 | 19         |
| 3.3.1    | Dimensionamento coppie cilindriche . . . . .  | 20         |
| 3.3.2    | Dimensionamento coppie coniche . . . . .  | 35         |
| <b>4</b> | <b>Dimensionamento alberi</b>   | <b>48</b>  |
| 4.1      | Metodologia applicata per la progettazione degli alberi mediante software . . . . . | 49         |
| <b>5</b> | <b>Scelta cusinetti</b>   | <b>94</b>  |
| <b>6</b> | <b>Dimensionamento dei calettamenti tra alberi e ruote</b>                          | <b>115</b> |
| <b>7</b> | <b>Scelta tenute rotanti</b>  | <b>123</b> |
| <b>8</b> | <b>Modellazione CAD 3D</b>  | <b>132</b> |
| <b>9</b> | <b>Messa in tavola di un ingranaggio ed un albero a scelta</b>                      | <b>136</b> |

## Elenco delle figure

|    |  |    |
|----|--|----|
| 1  | Ingombri di massima e velocità di rotazione . . . . .                              | 9  |
| 2  | Approccio al dimensionamento e denominazione degli accoppiamenti tra le ruote      | 9  |
| 3  | Ruote dentate cilindriche con profilo ad evolvente . . . . .                       | 10 |
| 4  | Ruote dentate coniche con profilo ad evolvente . . . . .                           | 11 |
| 5  | Generazione del profilo ad evolvente . . . . .                                     | 11 |
| 6  | Ingranamento tra due ruote dentate . . . . .                                       | 11 |
| 7  | Forma del dente . . . . .  | 12 |
| 8  | Diametri attivi . . . . .  | 13 |
| 9  | Forze scambiate dalle ruote durante l'ingranamento . . . . .                       | 13 |
| 10 | Andamento delle sollecitazioni dovute a Bending . . . . .                          | 14 |
| 11 | Analisi FEM delle sollecitazioni a flessione . . . . .                             | 14 |
| 12 | Sollecitazione di compressione . . . . .   | 14 |
| 13 | Andamento dello strisciamento lungo il fianco del dente . . . . .                  | 15 |
| 14 | Rottura a Bending del dente . . . . .  | 16 |
| 15 | Rottura a Pitting del dente . . . . .  | 16 |
| 16 | Rottura a Micropitting del dente . . . . .   | 17 |
| 17 | Rottura del dente a Scuffing . . . . .   | 17 |
| 18 | Ciclo di carico a cui è sottoposto il riduttore . . . . .                          | 18 |
| 19 | Caratteristiche del lubrificante impiegato . . . . .                               | 18 |
| 20 | Combinazioni dei numeri di denti che fornisce lo stesso rapporto di trasmissione . | 19 |
| 21 | Dimensionamento fattore di spostamento del profilo . . . . .                       | 20 |
| 22 | Parametri di modifica del software KissSoft . . . . .                              | 22 |
| 23 | Modifiche della microgeometria del dente . . . . .                                 | 22 |
| 24 | Dati di base coppia 4 5 . . . . .  | 23 |
| 25 | Parametri delle ruote della coppia 4 5 . . . . .                                   | 23 |
| 26 | Parametri caratteristici del lubrificante . . . . .                                | 24 |
| 27 | Profilo di riferimento delle due ruote della coppia 4 5 . . . . .                  | 24 |
| 28 | Parametri di fabbricazione delle ruote della coppia 4 5 . . . . .                  | 25 |
| 29 | Tolleranze delle ruote della coppia 4 5 . . . . .                                  | 25 |
| 30 | Modifiche delle ruote della coppia 4 5 . . . . .                                   | 26 |
| 31 | Resistenza delle ruote coppia 4 5 . . . . .  | 26 |
| 32 | Fattori delle ruote della coppia 4 5 . . . . .                                     | 27 |
| 33 | Analisi del contatto tra le ruote della coppia 4 5 . . . . .                       | 27 |
| 34 | Andamento delle tensioni lungo il fianco del dente . . . . .                       | 28 |
| 35 | Risultati dell'analisi del contatto tra le ruote della coppia 4 5 . . . . .        | 28 |
| 36 | Rappresentazione geometrica 3D della coppia di ruote 4 5 . . . . .                 | 29 |
| 37 | Dati di base coppia 6 7 . . . . .  | 29 |
| 38 | Parametri delle ruote della coppia 6 7 . . . . .                                   | 30 |
| 39 | Parametri caratteristici del lubrificante . . . . .                                | 30 |
| 40 | Profilo di riferimento delle due ruote della coppia 6 7 . . . . .                  | 31 |
| 41 | Parametri di fabbricazione delle ruote della coppia 6 7 . . . . .                  | 31 |
| 42 | Tolleranze delle ruote della coppia 6 7 . . . . .                                  | 32 |
| 43 | Modifiche delle ruote della coppia 6 7 . . . . .                                   | 32 |

|    |  |    |
|----|--|----|
| 44 | Resistenza delle ruote coppia 6 7 . . . . .  | 33 |
| 45 | Fattori delle ruote della coppia 6 7 . . . . .   | 33 |
| 46 | Analisi del contatto tra le ruote della coppia 6 7 . . . . .                             | 34 |
| 47 | Andamento delle tensioni lungo il fianco del dente . . . . .                             | 34 |
| 48 | Risultati dell'analisi del contatto tra le ruote della coppia 6 7 . . . . .              | 35 |
| 49 | Rappresentazione geometrica 3D della coppia di ruote 6 7 . . . . .                       | 35 |
| 50 | Dati di base coppia 0 1 . . . . .  | 36 |
| 51 | Parametri delle ruote della coppia 0 1 . . . . .   | 36 |
| 52 | Procedimento della coppia 0 1 . . . . .  | 37 |
| 53 | Profilo di riferimento delle ruote della coppia 0 1 . . . . .                            | 37 |
| 54 | Parametri di fabbricazione delle ruote della coppia 0 1 . . . . .                        | 38 |
| 55 | Tolleranze delle ruote della coppia 0 1 . . . . .  | 38 |
| 56 | Modifiche delle ruote della coppia 0 1 . . . . .   | 38 |
| 57 | Resistenza delle ruote coppia 0 1 . . . . .  | 39 |
| 58 | Fattori delle ruote della coppia 0 1 . . . . .   | 39 |
| 59 | Analisi del contatto tra le ruote della coppia 0 1 . . . . .                             | 40 |
| 60 | Andamento delle tensioni lungo il fianco del dente . . . . .                             | 40 |
| 61 | Risultati dell'analisi del contatto tra le ruote della coppia 0 1 . . . . .              | 41 |
| 62 | Rappresentazione geometrica 3D della coppia di ruote 0 1 . . . . .                       | 41 |
| 63 | Dati di base coppia 2 3 . . . . .  | 41 |
| 64 | Parametri delle ruote della coppia 2 3 . . . . .   | 42 |
| 65 | Procedimento della coppia 2 3 . . . . .  | 42 |
| 66 | Profilo di riferimento delle ruote della coppia 2 3 . . . . .                            | 43 |
| 67 | Parametri di fabbricazione delle ruote della coppia 2 3 . . . . .                        | 43 |
| 68 | Tolleranze delle ruote della coppia 2 3 . . . . .  | 44 |
| 69 | Modifiche delle ruote della coppia 2 3 . . . . .   | 44 |
| 70 | Resistenza delle ruote coppia 2 3 . . . . .  | 45 |
| 71 | Fattori delle ruote della coppia 2 3 . . . . .   | 45 |
| 72 | Analisi del contatto tra le ruote della coppia 2 3 . . . . .                             | 46 |
| 73 | Andamento delle tensioni lungo il fianco del dente . . . . .                             | 46 |
| 74 | Risultati dell'analisi del contatto tra le ruote della coppia 2 3 . . . . .              | 47 |
| 75 | Rappresentazione geometrica 3D della coppia di ruote 2 3 . . . . .                       | 47 |
| 76 | Proprietà dell'acciaio 42CrMo4 . . . . .   | 48 |
| 77 | Disegno di massima dell'albero . . . . .   | 49 |
| 78 | Inserimento dell'input di coppia sull'albero . . . . .                                   | 49 |
| 79 | Scelta dei cuscinetti dell'albero . . . . .  | 50 |
| 80 | Inserimento di ultimi dettagli di interesse per l'analisi degli alberi mediante KissSoft | 50 |
| 81 | Albero 1 . . . . .   | 51 |
| 82 | Layout Albero 1 . . . . .  | 52 |
| 83 | Caratteristiche cuscinetto sinistro relativo all'albero 1 . . . . .                      | 53 |
| 84 | Caratteristiche cuscinetto destro relativo all'albero 1 . . . . .                        | 53 |
| 85 | Dati della ruota 0 calettata sull'albero 1 . . . . .                                     | 54 |
| 86 | Momento torcente in ingresso all'albero 1 . . . . .                                      | 54 |
| 87 | Grandezze di dettaglio relative all'analisi dell'albero 1 . . . . .                      | 55 |
| 88 | Applicazione del carico lungo l'albero 1 . . . . .                                       | 55 |

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 89  | Valore delle forze trasmesse sull'albero 1 . . . . .   | 56 |
| 90  | Valore delle forze trasmesse sull'albero 1 . . . . .   | 56 |
| 91  | Deformata dell'albero 1 . . . . .  | 57 |
| 92  | Andamento della tensione equivalente lungo l'albero 1 . . . . .                              | 57 |
| 93  | Risultato dell'analisi statica e a fatica delle sezioni di interesse dell'albero 1 . . . . . | 58 |
| 94  | Albero 2 . . . . .   | 58 |
| 95  | Layout Albero 2 . . . . .  | 59 |
| 96  | Caratteristiche cuscinetto sinistro relativo all'albero 2 . . . . .                          | 60 |
| 97  | Caratteristiche cuscinetto destro relativo all'albero 2 . . . . .                            | 60 |
| 98  | Dati della ruota 1 calettata sull'albero 2 . . . . .   | 61 |
| 99  | Dati della ruota 3 calettata sull'albero2 . . . . .  | 61 |
| 100 | Grandezze di dettaglio relative all'analisi dell'albero 2 . . . . .                          | 62 |
| 101 | Applicazione del carico lungo l'albero 2 . . . . .   | 62 |
| 102 | Valore delle forze trasmesse sull'albero 2 . . . . .   | 63 |
| 103 | Valore delle forze trasmesse sull'albero 2 . . . . .   | 63 |
| 104 | Deformata dell'albero 2 . . . . .  | 63 |
| 105 | Andamento della tensione equivalente lungo l'albero 2 . . . . .                              | 64 |
| 106 | Risultato dell'analisi statica e a fatica delle sezioni di interesse dell'albero 2 . . . . . | 64 |
| 107 | Albero 3 . . . . .   | 65 |
| 108 | Layout Albero 3 . . . . .  | 65 |
| 109 | Caratteristiche cuscinetto sinistro relativo all'albero 3 . . . . .                          | 66 |
| 110 | Caratteristiche cuscinetto destro relativo all'albero 3 . . . . .                            | 66 |
| 111 | Dati della ruota 3 calettata sull'albero 3 . . . . .   | 67 |
| 112 | Dati delle ruote in output calettate sull'albero 3 . . . . .                                 | 68 |
| 113 | Grandezze di dettaglio relative all'analisi dell'albero 3 . . . . .                          | 69 |
| 114 | Ciclo di carico a cui è sottoposto il riduttore . . . . .                                    | 69 |
| 115 | Applicazione del carico lungo l'albero 3 . . . . .   | 70 |
| 116 | Valore delle forze trasmesse sull'albero 3 . . . . .   | 71 |
| 117 | Valore delle forze trasmesse sull'albero 3 . . . . .   | 71 |
| 118 | Deformata dell'albero 3 . . . . .  | 72 |
| 119 | Andamento della tensione equivalente lungo l'albero 3 . . . . .                              | 72 |
| 120 | Risultato dell'analisi statica e a fatica delle sezioni di interesse dell'albero 3 . . . . . | 73 |
| 121 | Applicazione del carico lungo l'albero 3 . . . . .   | 73 |
| 122 | Valore delle forze trasmesse sull'albero 3 . . . . .   | 74 |
| 123 | Valore delle forze trasmesse sull'albero 3 . . . . .   | 74 |
| 124 | Deformata dell'albero 3 . . . . .  | 75 |
| 125 | Andamento della tensione equivalente lungo l'albero 3 . . . . .                              | 75 |
| 126 | Risultato dell'analisi statica e a fatica delle sezioni di interesse dell'albero 3 . . . . . | 76 |
| 127 | Applicazione del carico lungo l'albero 3 . . . . .   | 76 |
| 128 | Valore delle forze trasmesse sull'albero 3 . . . . .   | 77 |
| 129 | Valore delle forze trasmesse sull'albero 3 . . . . .   | 77 |
| 130 | Deformata dell'albero 3 . . . . .  | 78 |
| 131 | Andamento della tensione equivalente lungo l'albero 3 . . . . .                              | 78 |
| 132 | Risultato dell'analisi statica e a fatica delle sezioni di interesse dell'albero 3 . . . . . | 79 |
| 133 | Albero 4 . . . . .   | 79 |

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 134 | Layout Albero 4 . . . . .  | 80  |
| 135 | Caratteristiche cuscinetto sinistro relativo all'albero 4 . . . . .                            | 81  |
| 136 | Caratteristiche cuscinetto destro relativo all'albero 4 . . . . .                              | 81  |
| 137 | Dati della ruota 5 calettata sull'albero 4 . . . . .   | 82  |
| 138 | Dati dell'accoppiamento motore (in questo caso utilizzatore) calettato sull'albero 4 . . . . . | 82  |
| 139 | Grandezze di dettaglio relative all'analisi dell'albero 4 . . . . .                            | 83  |
| 140 | Applicazione del carico lungo l'albero 4 . . . . .   | 83  |
| 141 | Valore delle forze trasmesse sull'albero 4 . . . . .   | 84  |
| 142 | Valore delle forze trasmesse sull'albero 4 . . . . .   | 84  |
| 143 | Deformata dell'albero 4 . . . . .  | 85  |
| 144 | Andamento della tensione equivalente lungo l'albero 4 . . . . .                                | 85  |
| 145 | Risultato dell'analisi statica e a fatica delle sezioni di interesse dell'albero 4 . . . . .   | 86  |
| 146 | Albero 5 . . . . .   | 86  |
| 147 | Layout Albero 5 . . . . .  | 87  |
| 148 | Caratteristiche cuscinetto sinistro relativo all'albero 5 . . . . .                            | 88  |
| 149 | Caratteristiche cuscinetto destro relativo all'albero 5 . . . . .                              | 88  |
| 150 | Dati della ruota 7 calettata sull'albero 5 . . . . .   | 89  |
| 151 | Dati dell'accoppiamento motore (in questo caso utilizzatore) calettato sull'albero 5 . . . . . | 89  |
| 152 | Grandezze di dettaglio relative all'analisi dell'albero 5 . . . . .                            | 90  |
| 153 | Applicazione del carico lungo l'albero 5 . . . . .   | 90  |
| 154 | Valore delle forze trasmesse sull'albero 5 . . . . .   | 91  |
| 155 | Valore delle forze trasmesse sull'albero 5 . . . . .   | 91  |
| 156 | Deformata dell'albero 5 . . . . .  | 92  |
| 157 | Andamento della tensione equivalente lungo l'albero 5 . . . . .                                | 92  |
| 158 | Risultato dell'analisi statica e a fatica delle sezioni di interesse dell'albero 5 . . . . .   | 93  |
| 159 | Caratteristiche tecniche dei cuscinetti montati sull'albero 1 . . . . .                        | 94  |
| 160 | Altre caratteristiche tecniche dei cuscinetti montati sull'albero 1 . . . . .                  | 95  |
| 161 | Alcuni dati notevoli riguardanti i cuscinetti dell'albero 1 . . . . .                          | 95  |
| 162 | Risultati del cuscinetto a sinistra dell'albero 1 . . . . .                                    | 95  |
| 163 | Risultati del cuscinetto di destra dell'albero 1 . . . . .                                     | 96  |
| 164 | Risultati complessivi dei cuscinetti per quanto riguarda l'albero 1 . . . . .                  | 96  |
| 165 | Caratteristiche tecniche dei cuscinetti montati sull'albero 2 . . . . .                        | 97  |
| 166 | Altre caratteristiche tecniche dei cuscinetti montati sull'albero 1 . . . . .                  | 98  |
| 167 | Caratteristiche tecniche dei cuscinetti montati sull'albero 2 . . . . .                        | 99  |
| 168 | Altre caratteristiche tecniche dei cuscinetti montati sull'albero 2 . . . . .                  | 100 |
| 169 | Alcuni dati notevoli riguardanti i cuscinetti dell'albero 2 . . . . .                          | 100 |
| 170 | Risultati del cuscinetto a sinistra dell'albero 2 . . . . .                                    | 101 |
| 171 | Risultati del cuscinetto di destra dell'albero 2 . . . . .                                     | 101 |
| 172 | Risultati complessivi dei cuscinetti per quanto riguarda l'albero 2 . . . . .                  | 101 |
| 173 | Caratteristiche tecniche dei cuscinetti montati sull'albero 3 . . . . .                        | 102 |
| 174 | Altre caratteristiche tecniche dei cuscinetti montati sull'albero 3 . . . . .                  | 103 |
| 175 | Alcuni dati notevoli riguardanti i cuscinetti dell'albero 3 . . . . .                          | 103 |
| 176 | Risultati del cuscinetto in basso dell'albero 3 . . . . .                                      | 104 |
| 177 | Risultati del cuscinetto in alto dell'albero 3 . . . . .                                       | 104 |
| 178 | Risultati complessivi dei cuscinetti nello step 1 per quanto riguarda l'albero 3 . . . . .     | 104 |

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 179 | Risultati del cuscinetto in basso dell'albero 3 . . . . .                            | 105 |
| 180 | Risultati del cuscinetto in alto dell'albero 3 . . . . .                             | 105 |
| 181 | Risultati complessivi dei cuscinetti nello step 2 per quanto riguarda l'albero 3 . . | 105 |
| 182 | Risultati del cuscinetto in basso dell'albero 3 . . . . .                            | 106 |
| 183 | Risultati del cuscinetto in alto dell'albero 3 . . . . .                             | 106 |
| 184 | Risultati complessivi dei cuscinetti nello step 3 per quanto riguarda l'albero 3 . . | 106 |
| 185 | Caratteristiche tecniche dei cuscinetti montati sull'albero 4 . . . . .              | 107 |
| 186 | Altre caratteristiche tecniche dei cuscinetti montati sull'albero 4 . . . . .        | 108 |
| 187 | Alcuni dati notevoli riguardanti i cuscinetti dell'albero 4 . . . . .                | 108 |
| 188 | Risultati del cuscinetto in basso dell'albero 4 . . . . .                            | 108 |
| 189 | Risultati del cuscinetto in alto dell'albero 4 . . . . .                             | 109 |
| 190 | Risultati complessivi dei cuscinetti per quanto riguarda l'albero 4 . . . . .        | 109 |
| 191 | Caratteristiche tecniche dei cuscinetti montati sull'albero 5 . . . . .              | 110 |
| 192 | Altre caratteristiche tecniche dei cuscinetti montati sull'albero 5 . . . . .        | 111 |
| 193 | Caratteristiche tecniche dei cuscinetti montati sull'albero 5 . . . . .              | 112 |
| 194 | Altre caratteristiche tecniche dei cuscinetti montati sull'albero 5 . . . . .        | 113 |
| 195 | Alcuni dati notevoli riguardanti i cuscinetti dell'albero 5 . . . . .                | 113 |
| 196 | Risultati del cuscinetto in basso dell'albero 5 . . . . .                            | 113 |
| 197 | Risultati del cuscinetto in alto dell'albero 5 . . . . .                             | 114 |
| 198 | Risultati complessivi dei cuscinetti per quanto riguarda l'albero 5 . . . . .        | 114 |
| 199 | Parametri caratteristici del profilo scanalato . . . . .                             | 115 |
| 200 | Caratteristiche del profilo scanalato sull'albero 1 . . . . .                        | 116 |
| 201 | Parametri di verifica del profilo scanalato riguardante l'albero . . . . .           | 116 |
| 202 | Parametri di verifica del profilo scanalato riguardante il mozzo . . . . .           | 116 |
| 203 | Verifica del profilo scanalato dell'albero 1 . . . . .                               | 117 |
| 204 | Caratteristiche del profilo scanalato sull'albero 2 . . . . .                        | 117 |
| 205 | Parametri di verifica del profilo scanalato riguardante l'albero . . . . .           | 117 |
| 206 | Parametri di verifica del profilo scanalato riguardante il mozzo . . . . .           | 118 |
| 207 | Verifica del profilo scanalato dell'albero 2 . . . . .                               | 118 |
| 208 | Caratteristiche del profilo scanalato sull'albero 3 . . . . .                        | 118 |
| 209 | Parametri di verifica del profilo scanalato riguardante l'albero . . . . .           | 119 |
| 210 | Parametri di verifica del profilo scanalato riguardante il mozzo . . . . .           | 119 |
| 211 | Verifica del profilo scanalato dell'albero 3 . . . . .                               | 119 |
| 212 | Caratteristiche del profilo scanalato sull'albero 4 . . . . .                        | 120 |
| 213 | Parametri di verifica del profilo scanalato riguardante l'albero . . . . .           | 120 |
| 214 | Parametri di verifica del profilo scanalato riguardante il mozzo . . . . .           | 120 |
| 215 | Verifica del profilo scanalato dell'albero 4 . . . . .                               | 121 |
| 216 | Caratteristiche del profilo scanalato sull'albero 5 . . . . .                        | 121 |
| 217 | Parametri di verifica del profilo scanalato riguardante l'albero . . . . .           | 121 |
| 218 | Parametri di verifica del profilo scanalato riguardante il mozzo . . . . .           | 122 |
| 219 | Verifica del profilo scanalato dell'albero 5 . . . . .                               | 122 |
| 220 | Nomenclatura caratteristica del paraolio . . . . .                                   | 123 |
| 221 | Schema di funzionamento della tenuta . . . . .                                       | 124 |
| 222 | Schema di funzionamento della tenuta . . . . .                                       | 124 |
| 223 | Rappresentazione 2D del riduttore . . . . .  | 125 |

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 224 | Caratteristiche tecniche dei paraoli montati sull'albero 1 . . . . . | 126 |
| 225 | Caratteristiche tecniche dei paraoli montati sull'albero 1 . . . . . | 127 |
| 226 | Caratteristiche tecniche dei paraoli montati sull'albero 2 . . . . . | 128 |
| 227 | Caratteristiche tecniche dei paraoli montati sull'albero 2 . . . . . | 129 |
| 228 | Caratteristiche tecniche dei paraoli montati sull'albero 5 . . . . . | 130 |
| 229 | Caratteristiche tecniche dei paraoli montati sull'albero 5 . . . . . | 131 |
| 230 | Rendering riduttore modellato tramite software SOLIDWORKS . . . . .  | 132 |
| 231 | Rendering riduttore modellato tramite software SOLIDWORKS . . . . .  | 133 |
| 232 | Rendering riduttore modellato tramite software SOLIDWORKS . . . . .  | 134 |
| 233 | Rendering riduttore modellato tramite software SOLIDWORKS . . . . .  | 135 |
| 234 | Messa in tavola dell'albero 4 . . . . .                              | 136 |
| 235 | Messa in tavola della ruota 6 . . . . .                              | 137 |

# 1 Introduzione

## 1.1 Dati di progetto

Lo studio e la progettazione della trasmissione in esame parte da alcune linee guida fornite dall'azienda COMER INDUSTRIES.

Il riduttore è dotato di un ingresso a 312RPM e 2 uscite (Output 1 e 2, coassiali) secondo le velocità indicate in Fig.1. Nello stesso schema sono quindi riportati gli interassi da mantenere, gli ingombri massimi della cassa, e i sensi di rotazione. Gli scostamenti ammessi sulle velocità di uscita sono di  $\pm 1.5\%$ .

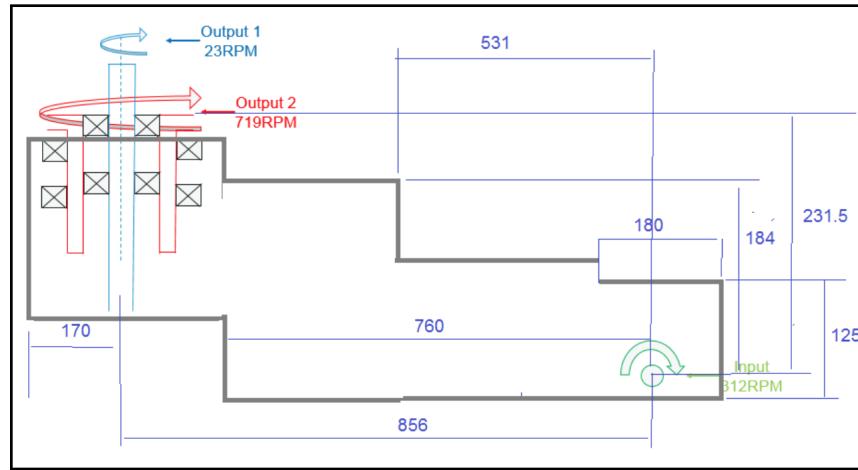


Figura 1: Ingombri di massima e velocità di rotazione

Con questi dati, dopo vari tentativi, sono state scelte le dimensioni di massima che rientrassero negli ingombri sopra citati e si è ottenuta la seguente configurazione. Sono state inoltre nominati gli accoppiamenti tra le ruote per avere una maggiore chiarezza nello svolgimento.

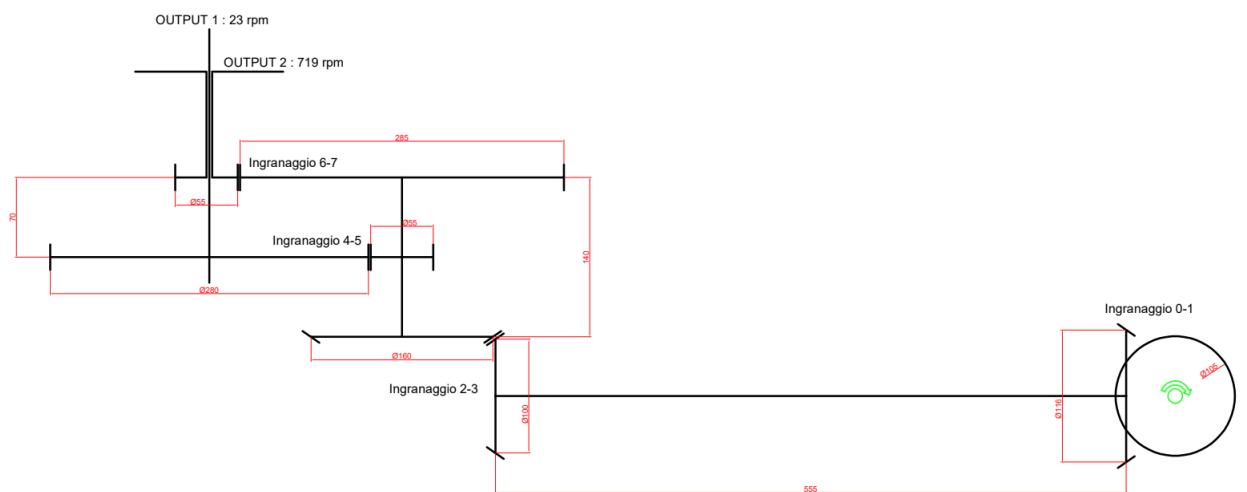


Figura 2: Approccio al dimensionamento e denominazione degli accoppiamenti tra le ruote

## 2 Dimensionamento ingranaggi

Le ruote dentate sono elementi di macchina utilizzati per la trasmissione del moto rotatorio e della potenza mediante alberi non coassiali, cioè paralleli (ruote cilindriche), incidenti (ruote coniche) o sghembi (ruote a vite). Nella trasmissione generalmente viene modificata la velocità angolare degli elementi.

Tra i vari sistemi di trasmissione del moto rotatorio (cinghie, catene, ecc.) le ruote dentate hanno:

- maggiore rendimento (fino al 98%),
- maggiore affidabilità e durata,
- minor ingombro,
- maggiore costo.

### 2.1 Geometria delle ruote

Quasi la totalità delle ruote dentate cilindriche ha profili ad evolvente di cerchio. Nello specifico, i profili coniugati sono ottenuti come inviluppo della curva  $\mu$  legata ad un epiciclo  $\varepsilon$  che rotola sulle primitive.

Nelle ruote dentate le primitive sono circonference mentre  $\mu$  e  $\varepsilon$  sono due rette.

Se si fa rotolare l'epiciclo  $\varepsilon$  sulle primitive  $\sigma_0$  e  $\sigma_1$ , la retta  $\mu$  inviluppa i profili  $s_1$  e  $s_2$  fra loro coniugati.

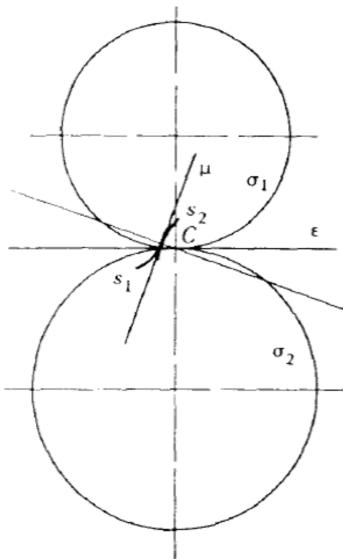


Figura 3: Ruote dentate cilindriche con profilo ad evolvente

Così come per le ruote cilindriche, i profili prevalentemente impiegati nelle ruote coniche sono profili ad evolvente, o meglio, profili prossimi ad evolventi sferici e il dimensionamento è del tutto analogo a quello delle ruote cilindriche.

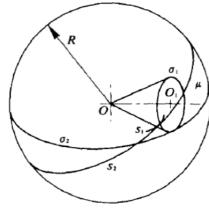


Figura 4: Ruote dentate coniche con profilo ad evolvente

La curva ad evolvente è definita come:

$$\theta = \operatorname{inv}(\alpha) = \tan(\alpha) - \alpha \quad (1)$$

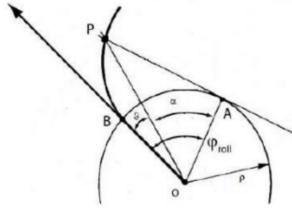


Figura 5: Generazione del profilo ad evolvente

Per un generico ingranamento, si identifica con:

- $\rho_1$  e  $\rho_2$  i raggi di base: raggi delle circonferenze su cui la retta generatrice del fianco del dente rotola senza strisciare, generando il profilo del dente (evolvente di cerchio).
- $r_1$  e  $r_2$  i raggi primitivi: raggi la cui somma definisce l'interasse, cioè la distanza tra i due centri delle due ruote dentate.
- C centro istantaneo di rotazione: unico punto in cui i due raggi primitivi si toccano e avviene la condizione di puro rotolamento, al di fuori di questo punto si verifica anche la condizione di strisciamento.
- $\alpha$  angolo di pressione: angolo della linea di azione rispetto all'orizzontale (solitamente  $20^\circ$ ).
- $a$  interasse.

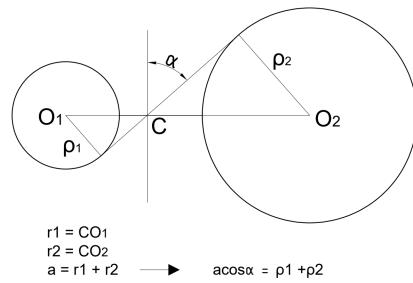


Figura 6: Ingranamento tra due ruote dentate

Il dimensionamento delle ruote dentate è di tipo modulare: quasi tutti i parametri geometrici della ruota fanno riferimento al modulo  $m$  definito come rapporto tra il diametro primitivo  $d$  ed il numero di denti  $Z$  della ruota, cioè:

$$m = \frac{d}{Z}. \quad (2)$$

Dal modulo (cioè dal numero di denti e dal diametro della primitiva) risulta direttamente determinato il passo (circolare o circonferenziale), che è la distanza tra punti omologhi di due denti consecutivi misurato sulla primitiva:

$$p = \pi \cdot m = \frac{\pi \cdot d}{Z}. \quad (3)$$

Il rapporto di trasmissione può essere espresso mediante la seguente relazione:

$$\tau = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{Z_2}{Z_1}. \quad (4)$$

## 2.2 Geometria del dente

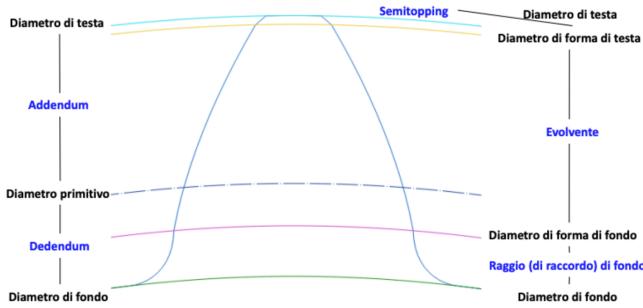


Figura 7: Forma del dente

Si definiscono i seguenti parametri descrittivi della forma del dente:

- Diametro di testa: diametro della circonferenza che limita superiormente il dente.
- Diametro di piede: diametro della circonferenza che limita inferiormente il dente.
- Diametro primitivo: diametro relativo al luogo dei centri di istantanea rotazione (circonferenza primitiva).
- Evolvente: zona di ingranamento tra due denti, che inizia con il diametro di forma di fondo e termina con il diametro di forma di testa.
- Semitopping: smusso realizzato per evitare la rottura dello spigolo del dente durante la sua realizzazione.
- Addendum: estensione in altezza del dente esternamente alla primitiva.
- Dedendum: estensione in altezza del dente internamente alla primitiva.
- Fianco: superficie del dente tra primitiva e circonferenza di Dedendum.
- Larghezza: spessore del dente nel piano normale alla primitiva.

I diametri di fondo siccome delimitano l'evolvente sono propri di una singola ruota dentata. Quando una ruota dentata ingranà con un'altra, si avrà una porzione di evolvente coinvolta nel contatto e una porzione non coinvolta.

La parte di evolvente coinvolta nel contatto è delimitata dai diametri attivi.

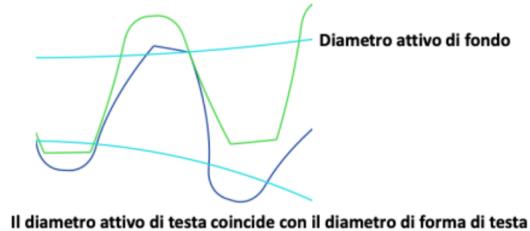


Figura 8: Diametri attivi

Questi diametri non sono propri di una ruota, ma dipendono dall'ingranamento. Essi sono quindi propri di una coppia di ruote che ingranano tra loro.

Il diametro attivo di testa coincide con quello di forma, perché l'ingranamento arriva fino in punta al dente. Il diametro attivo di fondo deve sempre essere maggiore del diametro di forma di fondo.

Bisogna sempre lasciare una porzione che sicuramente non ingranerà perché altrimenti possono verificarsi delle concentrazioni di tensioni.

### 2.3 Sollecitazioni

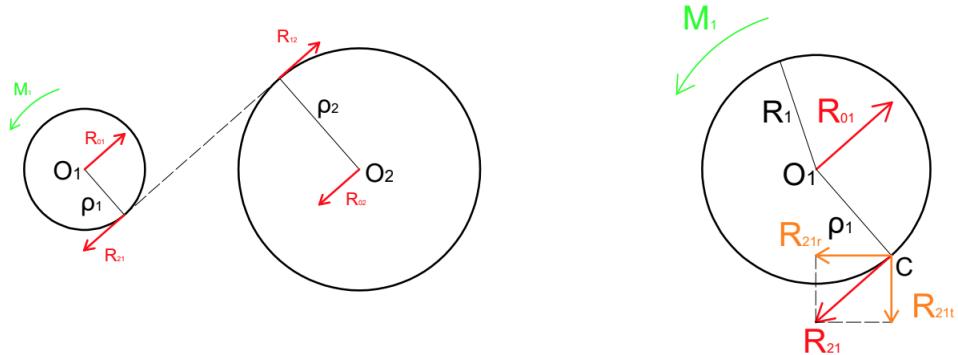


Figura 9: Forze scambiate dalle ruote durante l'ingranamento

Le due ruote ingranando trasmettono un momento, quindi i due denti toccandosi si trasmettono una reazione uguale e contraria  $R_{21}$  e  $R_{12}$ . Questa reazione ha una componente radiale e una tangenziale. La componente radiale non da momento, perché passa per il centro della ruota, mentre la componente tangenziale è quella che trasmette la coppia.

### 2.3.1 Flessione alla base del dente - Bending

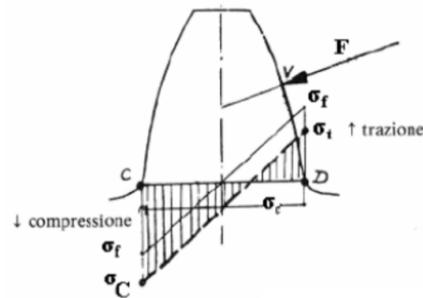


Figura 10: Andamento delle sollecitazioni dovute a Bending

La componente radiale genera una sollecitazione di compressione sul dente, mentre quella tangenziale genera una sollecitazione di flessione con un andamento di tipo farfalla simmetrica, quindi sommando i due contributi il risultato ottenuto è un andamento a farfalla asimmetrica. Il raccordo alla base del dente è l'elemento maggiormente sottoposto a questo tipo di sollecitazione (punto D sollecitato a trazione e C a compressione).

La sollecitazione a cui è sottoposto un dente non è statica, ma è affaticante all'origine, poiché durante l'ingranamento questi ultimi vengono caricati in punti diversi del loro fianco, fino a scaricarsi completamente per ogni ciclo.

Con il metodo FEM è possibile stimare la distribuzione delle sollecitazioni sul fondo del dente, dove il colore blu rappresenta una sollecitazione ridotta mentre il colore rosso una sollecitazione rilevante.

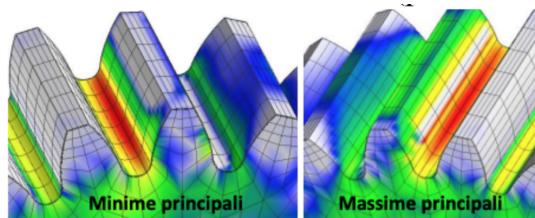


Figura 11: Analisi FEM delle sollecitazioni a flessione

### 2.3.2 Pressioni di contatto sul fianco del dente - Pitting

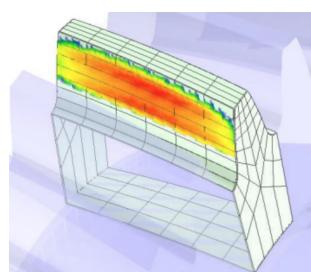


Figura 12: Sollecitazione di compressione

Le ruote ingranando trasmettono la coppia attraverso la compressione dei denti, questa sollecitazione genera delle pressioni di contatto che agiscono sul fianco del dente.

Il contatto tra i due denti è un contatto definito non conforme. Idealmente le due superfici concave si trasmettono pressioni di contatto attraverso un punto alla volta lungo la sezione, mentre attraverso una linea lungo la fascia del dente. In realtà il contatto avviene in una porzione a forma di ellisse che durante l'ingranamento si sposta lungo il profilo, dal fondo alla testa del dente.

Queste pressioni di contatto aumentano all'aumentare del carico, più carico l'ingranaggio deve trasmettere, più le pressioni sono elevate.

Queste sollecitazioni seguono la teoria di Hertz: comprimendo si genera una pressione che causa delle sollecitazioni, che variano dalla superficie alla sotto-superficie e che trovano un massimo in uno strato sotto-superficiale.

Le pressioni di contatto, come dice il nome, sono presenti solamente quando il dente è in presa, quindi la compressione avrà un andamento di tipo ciclo affaticante.

### 2.3.3 Strisciamento

Durante il contatto tra i denti delle due ruote, l'ingranamento varia a seconda della posizione del contatto. Infatti, il centro istantaneo di rotazione vedrà una condizione di puro rotolamento, al contrario di qualsiasi altro punto che subirà rotolamento e strisciamento.

Quest'ultimo fenomeno risulta particolarmente dannoso in quanto determina asportazione di materiale, risulta quindi di particolare interesse limitarne il più possibile gli effetti.

L'andamento dell'entità dello strisciamento è rappresentata in Fig.13.

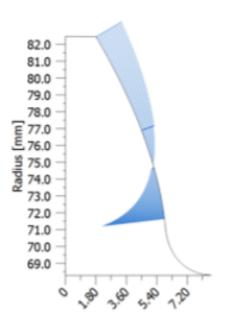


Figura 13: Andamento dello strisciamento lungo il fianco del dente

Si noti come, allontanandosi dal centro istantaneo di rotazione C (in corrispondenza del diametro primitivo), l'entità dello strisciamento aumenta, risultando massima in testa e alla base del dente.

Calcolare però l'effetto dello strisciamento risulta essere complicato perché non entra in gioco solo la resistenza del materiale, ma anche altri fattori come ad esempio la lubrificazione. Infatti, le superfici dei denti non sono a contatto diretto, ma vi si interpone un meato di lubrificante (olio) per prevenire appunto l'usura da strisciamento.

## 2.4 Failure modes

Durante la progettazione risulta necessario tenere conto di tutte le sollecitazioni sopra elencate, altrimenti si può incorrere in danneggiamenti di diverso tipo.

Si illustrano dunque alcune modalità di guasto che si possono presentare relativamente ad un ingranaggio.

### 2.4.1 Bending

Rottura alla base del dente dovuta a flessione affaticante, che presenta il suo massimo in corrispondenza del raccordo alla base dello stesso.

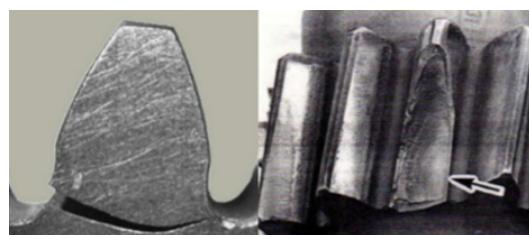


Figura 14: Rottura a Bending del dente

### 2.4.2 Pitting

Creazione di crateri (pits) sulla superficie del dente a causa della fatica da contatto. Si formano inizialmente dove la pressione di contatto è più elevata (generalmente nell'intorno del diametro primitivo), per poi estendersi su tutta la superficie del dente.

Per la teoria di Hertz si presenta un picco di tensione nella sotto-superficie. In quel punto si genera una cricca che poi raggiunge la superficie facendo staccare una porzione di materiale nell'intorno della cricca (cratere). I vari crateri si congiungono l'uno all'altro fino a "mangiare" completamente tutto il dente. Il dente arriva ad assottigliarsi talmente tanto da staccarsi durante l'ingranamento.

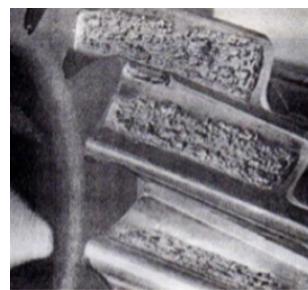


Figura 15: Rottura a Pitting del dente

### 2.4.3 Micropitting

Fenomeno per il quale si formano dei micro-crateri generati dal contatto tra le microasperità della superficie locale di metallo contro metallo. È una modalità di guasto dovuta a un film di lubrificante troppo sottile.

Se non si interpone una quantità sufficiente di lubrificante, le microasperità si saldano tra loro e durante lo strisciamento vengono asportate.

Il Micropitting può rimanere stabile durante il funzionamento oppure degenerare in vero e proprio Pitting.



Figura 16: Rottura a Micropitting del dente

#### 2.4.4 Scuffing

Fenomeno per il quale si generano alcuni segni verticali causati dall'effetto combinato di elevate velocità di strisciamento e pressioni di contatto, che causano la rottura del film lubrificante e il conseguente contatto metallo contro metallo e le problematiche prima descritte (come le microsaldature).



Figura 17: Rottura del dente a Scuffing

## 3 Progettazione

In primo luogo è stato eseguito un dimensionamento di massima degli ingranaggi, svolgendo i vari calcoli per il dimensionamento delle diverse ruote del riduttore. In seguito, è stato utilizzato il software di calcolo KissSoft per effettuare il dimensionamento vero e proprio.

Il riduttore è dotato di un solo ingresso (input) e di due uscite coassiali (output 1 e output 2), analizzate separatamente.

### 3.1 Dati di progetto

Per la progettazione sono state considerate le seguenti velocità:

- INPUT: velocità di rotazione dell'albero pari a 312 rpm;
- OUTPUT 1: velocità di rotazione dell'albero pari a 23 rpm;
- OUTPUT 2: velocità di rotazione dell'albero pari a 719 rpm.

Il carico considerato è riportato in Fig.114.

| STEP   | Percentuale di applicazione del carico | Output 2 | Output 1 | input |
|--------|--|----------|----------|-------|
| RPM    |  | 719      | 23       | 312   |
| 1 [kW] | 10%                                    | 0.00     | 7.30     | 7.30  |
| 2 [kW] | 65%                                    | 5.00     | 3.00     | 8.00  |
| 3 [kW] | 35%                                    | 2.70     | 1.80     | 4.50  |

Figura 18: Ciclo di carico a cui è sottoposto il riduttore

L'angolo di inclinazione d'elica è stato supposto pari a  $\beta = 20^\circ$ .

Inoltre, a seguito di numerosi tentativi è stato supposto un interasse I pari a 170 mm.

I materiali scelti per la realizzazione degli ingranaggi sono acciai da cementazione e, in questo caso, si è scelto 20MnCr5.

Qualità richiesta dagli ingranaggi:

- Ingranaggi conici: DIN3965 Qualità 9;
- Ingranaggi cilindrici ISO1328 Qualità 9.

Per la realizzazione degli alberi è stato utilizzato il materiale 42CrMo4.

La durata richiesta per il riduttore è pari a 3600h, sarà necessario quindi prevedere opportuni coefficienti di sicurezza secondo ISO6336 e ISO10300:

- SF Bending > 1.3;
- SF Pitting < 1.1 .

Il lubrificante utilizzato è il *SPIRAX S3 AX 80W-90*, dotato delle seguenti caratteristiche:

| <b>Spirax S3 AX 80W-90</b>         |                    |           |        |
|------------------------------------|--------------------|-----------|--------|
| <b>Viscosità SAE</b>               |                    | SAE J 306 | 80W-90 |
| <b>Viscosità cinematica</b>        |                    | ISO 3104  |        |
| a 40°C                             | mm <sup>2</sup> /s |           | 169.0  |
| a 100°C                            | mm <sup>2</sup> /s |           | 16.8   |
| <b>Densità a 15°C</b>              | kg/m <sup>3</sup>  | ISO 12185 | 900    |
| <b>Punto di infiammabilità COC</b> | °C                 | ISO 2592  | 220    |
| <b>Punto di scorrimento</b>        | °C                 | ISO 3016  | -30    |

Figura 19: Caratteristiche del lubrificante impiegato

### 3.2 Dimensionamento preliminare

Con i dati forniti dall'azienda Comer è stato possibile calcolare il rapporto di trasmissione totale prima della trasmissione input – output 1 e poi di quella input – output 2 come:

$$\tau_{tot1} = \frac{n_{21}}{n_1} = 0.074 \quad (5)$$

$$\tau_{tot2} = \frac{n_{22}}{n_1} = 2.30 \quad (6)$$

Ricordando poi che  $\tau_{tot1} = \tau_{01} \cdot \tau_{23} \cdot \tau_{45}$  e che  $\tau_{tot2} = \tau_{01} \cdot \tau_{23} \cdot \tau_{67}$ , sono stati supposti i singoli rapporti di trasmissione rispettando le equazioni appena scritte.

L'approccio seguito ha visto diverse iterazioni dei vari rapporti fino a trovare una configurazione idonea sia in termini di ingombri che di rapporto di riduzione totale.

Sono stati assunti i singoli rapporti di trasmissione pari a:

- $\tau_{01} = 0.84;$
- $\tau_{23} = 0.45;$
- $\tau_{45} = 0.19;$
- $\tau_{67} = 6.$

Il rapporto di trasmissione si definisce anche come rapporto tra il numero di denti tra i due ingranaggi:

$$\tau = \frac{z_2}{z_1}. \quad (7)$$

Supposto quindi il rapporto di trasmissione di ogni coppia di ingranaggi, è stata costruita su Excel una tabella che riportasse le diverse combinazioni di numeri di denti che portavano allo stesso valore di rapporto di trasmissione.

| corona | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 |
|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 10     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 11     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 12     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 13     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 14     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 15     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 16     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 17     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 18     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 19     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 20     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 21     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 22     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 23     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 24     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 25     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 26     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 27     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 28     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 29     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 30     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 31     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 32     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 33     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 34     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 35     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 36     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 37     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 38     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 39     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 40     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 41     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 42     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

Figura 20: Combinazioni dei numeri di denti che fornisce lo stesso rapporto di trasmissione

In questo modo sono state trovate diverse combinazioni di numeri di denti di corona e pignone di ogni singolo ingranaggio.

I numeri di denti trovati sono stati poi il punto di partenza per la progettazione mediante software KissSoft.

### 3.3 Dimensionamento tramite software KissSoft

Il dimensionamento tramite software KissSoft è stato fatto singolarmente per ogni coppia di ruote dentate:

- Coppia 0 1;
- Coppia 2 3;
- Coppia 4 5;

- Coppia 6 7;

Le prime due coppie di ruote 0 1 e 2 3 sono coppie coniche, mentre le coppie 4 5 e 6 7 sono coppie cilindriche.

### 3.3.1 Dimensionamento coppie cilindriche

**Metodologia applicata per il dimensionamento** In primo luogo, sono stati verificati gli ingombri di massima di ogni coppia di ruote, a partire dai dati di progetto forniti.

Una volta aperto il KissSoft per la prima coppia di ruote cilindriche, sono stati inseriti i “dati base” ottenuti dal dimensionamento di preliminare, cioè le diverse combinazioni di numeri di denti delle coppie di ruote e un certo valore supposto del modulo. Andando poi a supporre la larghezza del dente, è stato calcolato dal software il valore dell’interasse e successivamente è stato verificato che esso rientrasse nei limiti geometrici imposti.

Agendo per tentativi, variando il modulo o il numero di denti (sempre rispettando il rapporto di trasmissione supposto), si è cercato di far avvicinare il più possibile l’interasse al valore più adatto a rispettare gli ingombri imposti. Una volta raggiunto un valore di interasse vicino a quello ottimale, cioè 170 mm, si è ottenuta di conseguenza la relativa configurazione geometrica della coppia di ruote.

Il procedimento è stato ripetuto analogamente per ogni coppia di ruote dentate.

Si è cercato di evitare un valore negativo del fattore di spostamento del profilo  $x$ , quindi la logica di dimensionamento seguita ha portato al migliore compromesso tra modulo, numero di denti, interasse conseguente e fattore di spostamento non negativo.

Il software calcola in automatico diversi valori di correzione in base a vari parametri. Tra le varie opzioni disponibili si è scelto “Per scorrimento specifico ottimale”, in modo da distribuire l’usura dovuta allo strisciamento analogamente su entrambi i denti così da minimizzare il pitting.

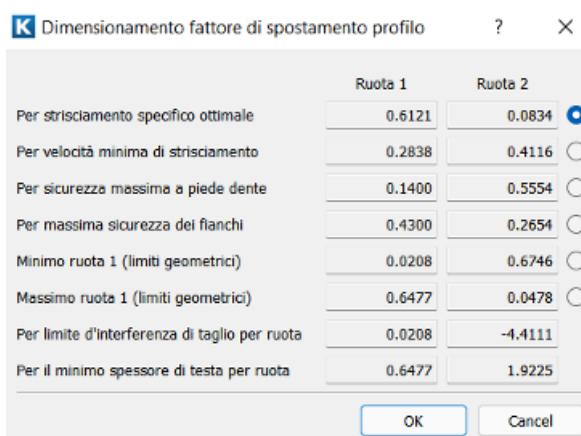


Figura 21: Dimensionamento fattore di spostamento del profilo

**Progettazione macrogeometrica ingranaggi cilindrici** In seguito al calcolo dei fattori di sicurezza ci si è trovati in situazioni in cui la resistenza a Bending poteva essere sovrardimensionata rispetto al Pitting (e viceversa), oppure che uno dei due fattori (o entrambi) non raggiungesse il

valore minimo accettabile.

Per risolvere questa problematica si è agito su diversi elementi del dimensionamento:

- Incremento di larghezza del dente b. Questa soluzione determina un miglioramento sia a Bending che a Pitting, pertinente quindi nel caso in cui entrambi i coefficienti risultano sottodimensionati.
- Decremento del modulo, corrispondente ad un aumento del numero di denti (a parità di interasse). Soluzione che penalizza la resistenza a Bending in favore della resistenza a Pitting.
- Massimizzazione del raggio di raccordo al piede del dente, in direzione di un incremento del fattore di sicurezza a Bending.
- Incremento dell'altezza del dente, il quale si traduce in un incremento dell'addendum del creatore. Scavando di più il dente si migliora la resistenza a Pitting.

Risulta buona norma di progettazione considerare un fattore di ricoprimento maggiore o uguale ad 1 (ancora meglio se superiore ad 1.3-1.4). Questo perché il ricoprimento è indicativo della superficie di contatto e tanto più sarà maggiore, tanto minori saranno le tensioni relative alle pressioni contatto.

Questo risultato è ottenibile ad esempio alzando l'altezza dei denti di entrambe le ruote, comportando però maggiore sollecitazione flessionale (Bending).

**Progettazione microgeometrica ingranaggi cilindrici** La progettazione sin qui svolta da normativa non considera alcuni fattori di cui si deve necessariamente tenere conto. Ad esempio, è possibile andare a calcolare il fattore sulla lunghezza del dente  $K_{HB}$  derivante da un'analisi delle pressioni che agiscono sul dente (pressione massima su pressione media).

Se  $K_{HB}$  avesse valore unitario, significherebbe che la pressione massima sarebbe uniformemente distribuita lungo tutta la superficie del dente. Si è scelto in via cautelativa di supporre tale fattore leggermente superiore all'unità, per poi verificarlo a posteriori andando a verificare due aspetti:

- Micro-modifiche del profilo, sagomando ad hoc il creatore o attraverso rettifica;
- Influenza della non infinita rigiùità degli alberi.

Per modifiche micro-geometriche si intendono modifiche che prevedono l'asportazione di materiale in testa e al piede del dente (scostamento dall'evolvente teorico) per compensare le deformazioni del dente ed evitare quindi gli urti. L'asportazione micro-geometrica di materiale in testa viene chiamata "tip relief", mentre quella al piede "root relief".

In funzione della loro forma si definiscono:

- Lunghe o corte a seconda del diametro dove hanno inizio lungo il profilo (secondo ISO 21771);
- Lineari o paraboliche a seconda che siano tratti di retta o parabola sul K-Chart. Solitamente le paraboliche sono preferibili poiché la parabola crea continuità, evitando spigoli che possono determinare fattori di concentrazione delle tensioni.

Per effettuare le modifiche è necessario andare nella sezione “Modifiche” del KissSoft e inserire un elenco di nuove asportazioni di materiale.

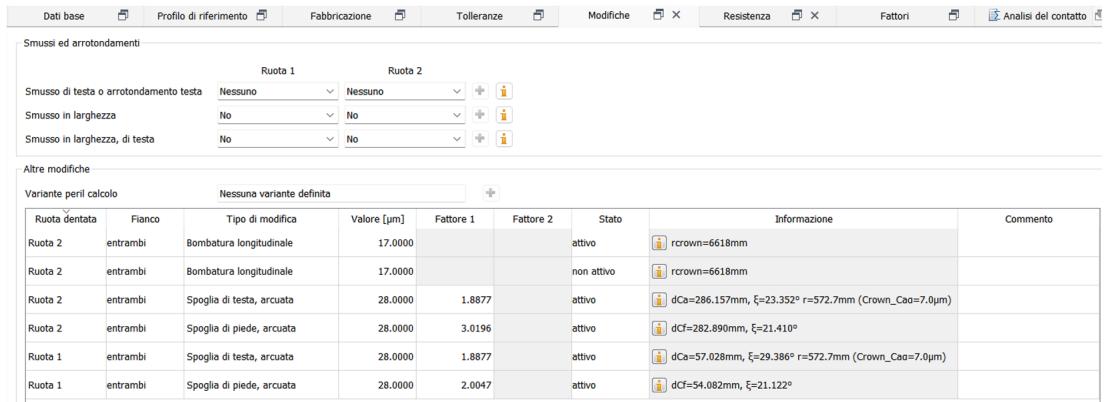


Figura 22: Parametri di modifica del software KissSoft

È possibile inserire la bombatura longitudinale, la spoglia di testa o di piede, correzione angolo d’elica e tante altre a seconda della necessità.  
Il fattore 1 indica da dove si vuole far partire la modifica attraverso il tasto di ”modifica di massima”, dove è possibile andare a decidere quale lavorazione fare, dove e come.

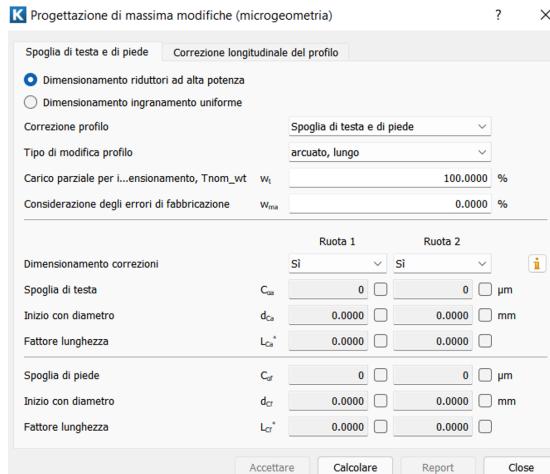


Figura 23: Modifiche della microgeometria del dente

Per verificare invece quanto è rigido l’albero è necessario prima progettare l’albero, inserirlo nel KissSoft e vedere come la sua rigidezza, oltre a quella dei denti, influisce sul contatto. In questo modo si riesce anche a verificare a posteriori il  $K_{HB}$ .

## Coppia cilindrica 4 5 Definizione dei dati di base della coppia cilindrica.

Figura 24: Dati di base coppia 4 5

A seguito di diversi tentativi quindi per la prima coppia cilindrica è stato scelto un numero di denti pari a 18 per la ruota 1 e pari a 94 per la ruota 2. Il modulo è stato supposto pari a 3 mm, la larghezza del dente pari a 30 mm, l'angolo di pressione  $20^\circ$  e un interasse pari a 170 mm, ideale per rispettare gli ingombri disponibili. La qualità degli ingranaggi pari a 9 (ISO1328). Il materiale scelto per entrambe le ruote è un acciaio da cementazione 20MnCr5, con un carico di rottura  $R_m$  pari a  $1200 \text{ N/mm}^2$  e un carico di snervamento  $R_s$  pari a  $850 \text{ N/mm}^2$ .

Figura 25: Parametri delle ruote della coppia 4 5

Per quanto riguarda il lubrificante invece non essendo presente tra le scelte del software è stato necessario crearlo procedendo come in Fig.39, inserendo tutti i dati di progetto richiesti. Il lubrificante utilizzato è lo *SPIRAX S3 AX 80W-90*, con le seguenti caratteristiche:

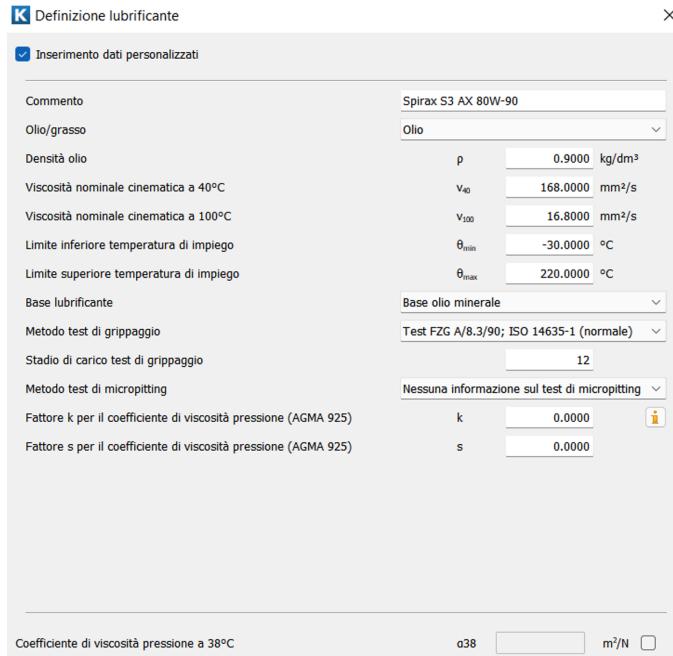


Figura 26: Parametri caratteristici del lubrificante

Le altre sezioni del KissSoft per la prima coppia cilindrica sono state così compilate.

### Sezione *Profilo di riferimento*

| Dati base                                     | Profilo di riferimento               | Fabbricazione                                 | Tolleranze                           | Modifiche | Resistenza | Fattori | Analisi del contatto |
|---|--------------------------------------|---|--------------------------------------|-----------|------------|---------|----------------------|
| Fase di lavorazione Ruota 1                   |                                      | Fase di lavorazione Ruota 2                   |                                      |           |            |         |                      |
| Pre-fabbricazione e finitura                  | Finitura (senza pre-fabbricazione)   | Pre-fabbricazione e finitura                  | Finitura (senza pre-fabbricazione)   |           |            |         |                      |
| Finitura Ruota 1                              |                                      | Finitura Ruota 2                              |                                      |           |            |         |                      |
| Selezione utensile                            | Profilo di riferimento ruota dentata | Selezione utensile                            | Profilo di riferimento ruota dentata |           |            |         |                      |
| Inserimento                                   | Fattori                              | Inserimento                                   | Fattori                              |           |            |         |                      |
| Selezione del profilo di riferimento          | Immissione propria                   | Selezione del profilo di riferimento          | Immissione propria                   |           |            |         |                      |
| Denominazione                                 | Inserire...                          | Denominazione                                 | Inserire...                          |           |            |         |                      |
| Fattore di dedendum                           | $h_{DP}$ 1.3500                      | Fattore di dedendum                           | $h_{DP}$ 1.3500                      |           |            |         |                      |
| Fattore raggio piede                          | $p_{DP}$ 0.4200                      | Fattore raggio piede                          | $p_{DP}$ 0.4000                      |           |            |         |                      |
| Fattore di addendum                           | $h_{AP}$ 1.1000                      | Fattore di addendum                           | $h_{AP}$ 1.2000                      |           |            |         |                      |
| Fattore altezza protuberanza                  | $h_{PP}$ 0.0000                      | Fattore altezza protuberanza                  | $h_{PP}$ 0.0000                      |           |            |         |                      |
| Angolo protuberanza                           | $\alpha_{DP}$ 0.0000 °               | Angolo protuberanza                           | $\alpha_{DP}$ 0.0000 °               |           |            |         |                      |
| Fattore addendum di forma                     | $h_{AFP}$ 0.0000                     | Fattore addendum di forma                     | $h_{AFP}$ 0.0000                     |           |            |         |                      |
| Angolo d'incidenza ev...e fianco dello smusso | $\alpha_{AF}$ 0.0000 °               | Angolo d'incidenza ev...e fianco dello smusso | $\alpha_{AF}$ 0.0000 °               |           |            |         |                      |
| <input type="checkbox"/> Utensile topping     |                                      | <input type="checkbox"/> Utensile topping     |                                      |           |            |         |                      |
| Modifica addendum ruota dentata               | $k:m_n$ -0.0860 mm                   | Modifica addendum ruota dentata               | $k:m_n$ -0.0860 mm                   |           |            |         |                      |

Figura 27: Profilo di riferimento delle due ruote della coppia 4 5

Questa sezione riguarda il tipo di profilo utensile utilizzato per l'inviluppo del dente. In genere per ruote standard si utilizza o prefabbricazione o finitura (senza prefabbricazione), come nel caso in esame. Una volta scelto il profilo di riferimento i dati vengono inseriti in automatico dal Software.

## Sezione Fabblicazione

The screenshot shows the 'Fabrication' section of a software interface. It includes tabs for 'Dati base', 'Profilo di riferimento', 'Fabblicazione' (selected), 'Tolleranze', 'Modifiche', 'Resistenza', 'Fattori', and 'Analisi del contatto'. The 'Fabblicazione' tab is active, displaying two sections for 'Ruota 1' and 'Ruota 2'. Each section contains fields for 'Lavorazione' (Non definito), 'Correzioni' (Non definito), and various correction parameters like 'Inizio correzione con fattore d'altezza' and 'Inizio correzione con diametro'. Below these are tables for 'Esecuzione della correzione profilo Ruota 1' and 'Esecuzione della correzione profilo Ruota 2', listing process details and specific correction values.

Figura 28: Parametri di fabbricazione delle ruote della coppia 4 5

## Sezione Tolleranze

The screenshot shows the 'Tolerances' section of a software interface. It includes tabs for 'Dati base', 'Profilo di riferimento', 'Fabblicazione', 'Tolleranze' (selected), 'Modifiche', 'Resistenza', 'Fattori', and 'Analisi del c'. The 'Tolleranze' tab is active, displaying sections for 'Scarti' and 'Interasse'. The 'Scarti' section shows tolerance tables for 'Ruota 1' and 'Ruota 2' based on ISO 1328 standards, with columns for 'superiore' and 'inferiore' values. The 'Interasse' section shows tolerance values for 'ISO 286:2010 Scarto js7' with 'superiore' and 'inferiore' values for 'Scostamento interasse'.

Figura 29: Tolleranze delle ruote della coppia 4 5

Questa sezione permette di inserire le diverse tolleranze relative agli scarti e interasse, all'interno di "Scarti" compare la voce "Tolleranza spessore dente", dove è stata scelta la tipologia di tolleranza in base alla normativa ISO1328. Per quanto riguarda la tolleranza all'interasse è stata scelta la voce ISO 286:2010 Scarto js7.

Le tolleranze non sono importanti per la parte di calcolo dell'ingranaggio, ma sono funzionali al disegno. La tolleranza più importante è quella della testa del dente, funzionale per la fase di tornitura.

## Sezione Modifiche

Figura 30: Modifiche delle ruote della coppia 4 5

Le modifiche effettuate sono state:

- Ruota 1: spoglia di testa e di piede;
- Ruota 2: bombatura longitudinale, spoglia di testa e di piede.

## Sezione Resistenza

Figura 31: Resistenza delle ruote coppia 4 5

In questa sezione del software KissSoft vengono inserite Potenza, velocità e momento torcente funzionali al metodo di calcolo ISO6336:2006. La ruota di riferimento da selezionare è chiaramente la ruota motrice e si suppone che il fianco di lavorazione sia il destro. Inoltre, viene inserito manualmente il ciclo di carico fornito dai dati di progetto.

## Sezione Fattori

Dati base Profilo di riferimento Fabbricazione Tolleranza Modifiche Resistenza Fattori Anal

Fattori generali

|                        |          |        |                                       |  |
|------------------------|----------|--------|---------------------------------------|--|
| Fattore d'applicazione | $K_x$    | 1.0000 | <span style="color: orange;">i</span> | <span style="float: right;">Fattori Z-Y</span> |
| Fattore dinamico       | $K_y$    | 1.0028 | <input type="checkbox"/>              |  |
| Fattore trasversale    | $K_{HB}$ | 1.0000 | <input type="checkbox"/>              |  |

Fattore di distribuzione, distribuzione del carico non uniforme con divisione di potenza

|                          |                                 |        |
|--------------------------|---------------------------------|--------|
| Metodo                   | Inserimento dati personalizzati |        |
| Fattore di distribuzione | $K_y$                           | 1.0000 |

Fattore flessione alternata (coefficiente d'influsso tensione media)

|   |             |        |                                       |
|---|-------------|--------|---------------------------------------|
| Metodo  | Predefinito |        |                                       |
| Fattore flessione alternata (riferimento) $Y_M$ | 1.0000      | 1.0000 | <span style="color: orange;">i</span> |

Fattore di carico sulla larghezza

|                                   |                                 |        |                                       |
|-----------------------------------|---------------------------------|--------|---------------------------------------|
| Metodo                            | Inserimento dati personalizzati |        |                                       |
| Fattore di carico sulla larghezza | $K_{HB}$                        | 1.1000 | <span style="color: orange;">i</span> |

Figura 32: Fattori delle ruote della coppia 4 5

In questa sezione è stato ipotizzato un fattore di carico sulla lunghezza  $K_{HB}$  pari a 1.1. Nel caso in questione albero e scatola sono elementi considerati rigidi, ma per fare un calcolo in sicurezza si suppone comunque che la pressione non sia distribuita in maniera perfettamente uniforme sul dente.

Il fattore di flessione alternata  $Y_M$  è stato supposto 1, siccome si ha a che fare con un ciclo all'origine. Se si avesse avuto un ciclo alterno allora  $Y_M$  sarebbe stato supposto pari a 0.7.

## Sezione Analisi del contatto

base Profilo di riferimento Fabbricazione Tolleranza Modifiche Resistenza Fattori Anal Analisi del contatto

Impostazioni

|                                      |            |                                       |  |
|--------------------------------------|------------|---------------------------------------|--|
| Risoluzione                          | medio      | <span style="color: orange;">i</span> | <input type="checkbox"/> Considerare lo spettro di carico      |
| Considerare i coefficienti di carico | $K_x, K_y$ | <span style="color: orange;">i</span> | Coefficiente di carico parziale per il calcolo $w_i$ 100.000 % |
|                                      |            |                                       | Coefficiente di carico parziale risultante $w_i$ 100.000 %     |

Infissi fabbricazione

|                         |                    |                                       |                                       |                         |       |                |                                       |
|-------------------------|--------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-------|----------------|---------------------------------------|
| Coefficiente di attrito | $\mu$              | 0.0500                                | <span style="color: orange;">i</span> | Errore di passo singolo | $f_x$ | 0.0000 $\mu m$ | <span style="color: orange;">i</span> |
| Errore di concentricità | Da non considerare | <span style="color: orange;">i</span> |                                       |                         |       |                |                                       |

Infissi allineamento assi

|           |                    |                                       |                      |
|-----------|--------------------|---------------------------------------|----------------------|
| Interasse | Interasse nominale | <span style="color: orange;">i</span> | Allineamento assi... |
| Interasse | $a$                | 170.0000 mm                           |                      |

Usura

|   |                 |
|---|-----------------|
| <input type="checkbox"/> Calcolo usura iterativo            |                 |
| Usura massima consentita per ciascuna iterazione $\Delta w$ | 15.0000 $\mu m$ |
| Numeri massimi di iterazioni                                | 100             |

Figura 33: Analisi del contatto tra le ruote della coppia 4 5

In questa sezione del software si chiede a che carico si vuole far girare l'analisi di contatto in termini percentuali rispetto al valore del momento torcente che è stato inserito nella sezione "Resistenza". Andando poi in "Grafica" è possibile vedere la Stress Distribution on Tooth 3D. Se la situazione mostra una concentrazione delle tensioni molto accentuata a piede del dente è possibile andare a ri-modificare i fattori di "Modifiche" delle ruote.

Ciò che è stato ottenuto in questa analisi è mostrato in Fig.34.

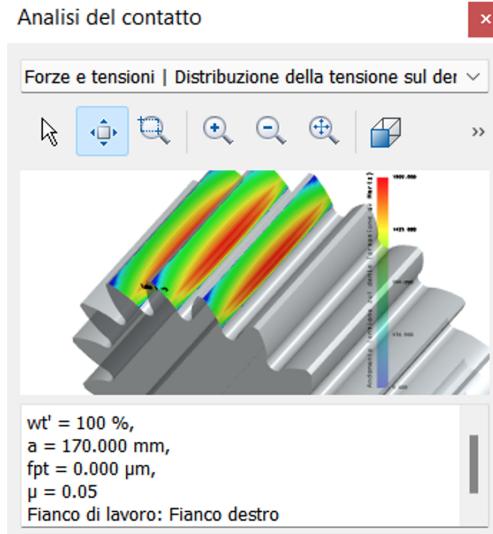


Figura 34: Andamento delle tensioni lungo il fianco del dente

La sollecitazione è concentrata sulla parte centrale del dente, soluzione ottimale per l'applicazione studiata.

Nella sezione "Risultati" è possibile visualizzare tutti i dati ottenuti dall'analisi (in particolare il fattore di ricoprimento e i valori dei coefficienti di sicurezza).

La verifica a resistenza risulta soddisfatta per i seguenti valori:

- Sicurezza al piede del dente (Bending),  $S_F > 1.3$ ;
- Sicurezza al finaco del dente (Pitting),  $S_H > 1.1$ .

| Risultati (calcolo di base)     |   |                       |         |
|---------------------------------|---|-----------------------|---------|
| Calcolo con spettro di carico,  |   |                       |         |
| Immissione propria              |   |                       |         |
| Ricoprimenti                    | $[\varepsilon_{\text{om}}/\varepsilon_{\beta}/\varepsilon_{\text{ym}}]$ | 1.719 / 0.000 / 1.719 |         |
| Cerchio di testa effettivo (mm) | $[d_{ae}]$  | 63.008                | 290.621 |
| Sicurezza a piede dente         | $[S_F]$   | 1.499                 | 1.543   |
| Sicurezza fianchi               | $[S_H]$   | 1.126                 | 1.341   |

Figura 35: Risultati dell'analisi del contatto tra le ruote della coppia 4 5

Il Software fornisce anche una rappresentazione 3D di massima dell'accoppiamento

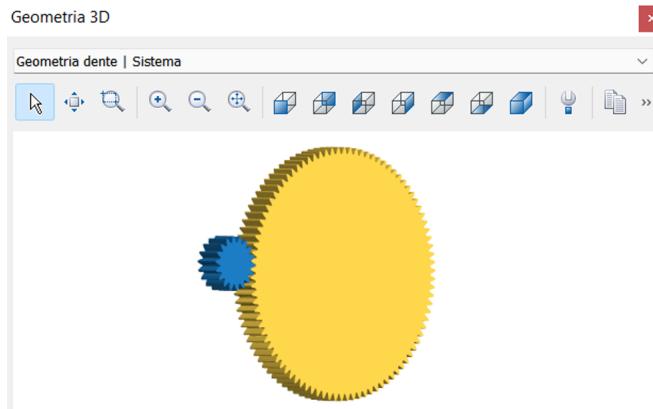


Figura 36: Rappresentazione geometrica 3D della coppia di ruote 4 5

**Coppia cilindrica 6 7** Definizione dei dati di base della coppia cilindrica:

 A screenshot of a software interface for defining base data for a cylindrical pair (6 7). The interface is divided into sections: 
 - \*\*Geometria\*\* (Geometry): Contains fields for gear profile type (simmetrico), module (m<sub>n</sub> = 2.0000 mm), number of teeth (z = 143 for Ruota 1, 24 for Ruota 2), helix angle (α<sub>n</sub> = 20.0000°), tooth profile (dentatura diritta for Ruota 1), pitch diameter (d<sub>p</sub> = 0.0000°), and interaxis distance (a = 170.0000 mm).
 - \*\*Materiali e lubrificazione\*\* (Materials and Lubrication): Shows material selection for both wheels (Ac. da cementazione) and self-lubrication (Immissione propria).
 - \*\*Analisi del contatto\*\* (Contact Analysis): A small tab indicating contact analysis results.

Figura 37: Dati di base coppia 6 7

A seguito di diversi tentativi quindi per la seconda coppia cilindrica è stato scelto un numero di denti pari a 143 per la ruota 1 e pari a 24 per la ruota 2. Il modulo è stato supposto pari a 2 mm, la larghezza del dente pari a 30 mm, l'angolo di pressione  $20^\circ$  e un interasse pari a 170 mm, ideale per rispettare gli ingombri disponibili. La qualità degli ingranaggi pari a 9 (ISO1328), mentre il materiale scelto per entrambe le ruote è un acciaio da cementazione 20MnCr5, con un carico di rottura  $R_m$  pari a  $1200 \text{ N/mm}^2$  e un carico di snervamento  $R_s$  pari a  $850 \text{ N/mm}^2$ .

| Proprietà                             | Unità                        | Valor Ruota 1 (ISO 6336-5) | Valor Ruota 2 (ISO 6336-5) |
|---------------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Modulo di elasticità                  | $\text{N/mm}^2$              | 206000.0000                | 206000.0000                |
| Coefficiente di Poisson               |                              | 0.3000                     | 0.3000                     |
| Densità                               | $\text{kg/m}^3$              | 7830.0000                  | 7830.0000                  |
| Coefficiente...ione termica           | $10^{-6}/^\circ\text{C}$     | 11.5000                    | 11.5000                    |
| Tipo di materiale                     |                              | Ac. da cementazione        | Ac. da cementazione        |
| Tipo di trattamento                   |                              | cementato                  | cementato                  |
| Durezza superficie                    |                              | 60.0000                    | 60.0000                    |
| Durezza a cuore                       |                              | 266.0000                   | 266.0000                   |
| Resistenza alla trazione              | $\text{N/mm}^2$              | 1200.0000                  | 1200.0000                  |
| Limite di snervamento                 | $\text{N/mm}^2$              | 850.0000                   | 850.0000                   |
| Capacità termica specifica            | $\text{J/(kg*K)}$            | 485.0000                   | 485.0000                   |
| Conducibilità...ica specifica         | $\text{W/(m*K)}$             | 50.0000                    | 50.0000                    |
| Rugosità media di piede/fianco        | $\mu\text{m}$                | 20.0000                    | 20.0000                    |
| Valore medio di rugosità piede/fianco | $\mu\text{m}$                | 3.0000                     | 3.0000                     |
| Fattore d'usura                       | $\text{mm}^3/\text{Nm}/10^6$ | 0.00000000                 | 0.00000000                 |
| <input type="checkbox"/> pallinato    |                              |                            |                            |

Figura 38: Parametri delle ruote della coppia 6 7

Per quanto riguarda il lubrificante invece non essendo presente tra le scelte del software è stato necessario crearlo procedendo come in Fig.39, inserendo tutti i dati di progetto richiesti. Il lubrificante utilizzato è lo *SPIRAX S3 AX 80W-90*, con le seguenti caratteristiche:

| Proprietà   | Valor   |
|---|---|
| Olio/grasso   | Olio  |
| Densità olio  | $0.9000 \text{ kg/dm}^3$                      |
| Viscosità nominale cinematica a $40^\circ\text{C}$              | $168.0000 \text{ mm}^2/\text{s}$              |
| Viscosità nominale cinematica a $100^\circ\text{C}$             | $16.8000 \text{ mm}^2/\text{s}$               |
| Limite inferiore temperatura di impiego                         | $-30.0000 \text{ }^\circ\text{C}$             |
| Limite superiore temperatura di impiego                         | $220.0000 \text{ }^\circ\text{C}$             |
| Base lubrificante   | Base olio minerale                            |
| Metodo test di grippaggio                                       | Test FZG A/8.3/90; ISO 14635-1 (normale)      |
| Stadio di carico test di grippaggio                             | 12  |
| Metodo test di micropitting                                     | Nessuna informazione sul test di micropitting |
| Fattore k per il coefficiente di viscosità pressione (AGMA 925) | k = 0.0000                                    |
| Fattore s per il coefficiente di viscosità pressione (AGMA 925) | s = 0.0000                                    |
| Coefficiente di viscosità pressione a $38^\circ\text{C}$        |   |

Figura 39: Parametri caratteristici del lubrificante

Le altre sezioni del KissSoft per la prima coppia cilindrica sono state così compilate.

### Sezione Profilo di riferimento

| Fase di lavorazione Ruota 1                   |   | Fase di lavorazione Ruota 2                   |   |
|---|---|---|---|
| Pre-fabbricazione e finitura                  | Finitura (senza pre-fabbricazione)      | Pre-fabbricazione e finitura                  | Finitura (senza pre-fabbricazione)      |
| <b>Finitura Ruota 1</b>                       |   | <b>Finitura Ruota 2</b>                       |   |
| Selezione utensile                            | Profilo di riferimento ruota dentata    | Selezione utensile                            | Profilo di riferimento ruota dentata    |
| Inserimento                                   | Fattori                                 | Inserimento                                   | Fattori                                 |
| Selezione del profilo di riferimento          | 1.25 / 0.38 / 1.0 ISO 53:1998 Profilo A | Selezione del profilo di riferimento          | 1.25 / 0.38 / 1.0 ISO 53:1998 Profilo A |
| Fattore di dedendum                           | $h_{IP}$<br>1.2500                      | Fattore di dedendum                           | $h_{IP}$<br>1.2500                      |
| Fattore raggio piede                          | $p_{IP}$<br>0.3800                      | Fattore raggio piede                          | $p_{IP}$<br>0.3800                      |
| Fattore di addendum                           | $h_{AP}$<br>1.0000                      | Fattore di addendum                           | $h_{AP}$<br>1.0000                      |
| Fattore altezza protuberanza                  | $h_{IP}$<br>0.0000                      | Fattore altezza protuberanza                  | $h_{IP}$<br>0.0000                      |
| Angolo protuberanza                           | $\alpha_{IP}$<br>0.0000 °               | Angolo protuberanza                           | $\alpha_{IP}$<br>0.0000 °               |
| Fattore addendum di forma                     | $h_{IP}$<br>0.0000                      | Fattore addendum di forma                     | $h_{IP}$<br>0.0000                      |
| Angolo d'incidenza ev...e fianco dello smusso | $\alpha_{IP}$<br>0.0000 °               | Angolo d'incidenza ev...e fianco dello smusso | $\alpha_{IP}$<br>0.0000 °               |
| <input type="checkbox"/> Utensile topping     |   | <input type="checkbox"/> Utensile topping     |   |
| Modifica addendum ruota dentata               | $k \cdot m_a$<br>-0.1920 mm             | Modifica addendum ruota dentata               | $k \cdot m_a$<br>-0.1920 mm             |

Figura 40: Profilo di riferimento delle due ruote della coppia 6 7

Questa sezione riguarda il tipo di profilo utensile utilizzato per l'inviluppo del dente. In genere per ruote standard si utilizza o prefabbricazione o finitura (senza prefabbricazione), come nel caso in esame. Una volta scelto il profilo di riferimento i dati vengono inseriti in automatico dal Software.

### Sezione Fabbricazione

| Ruota 1   |  | Ruota 2   |  |
|---|--|---|--|
| Lavorazione   | Non definito                                   | Lavorazione   | Non definito                                   |
| Correzioni  | Non definito                                   | Correzioni  | Non definito                                   |
| <input type="checkbox"/> Controllo su power skiving |  | <input type="checkbox"/> Controllo su power skiving |  |
| <input type="checkbox"/> Controllo levigatura       |  | <input type="checkbox"/> Controllo levigatura       |  |
| <b>Esecuzione della correzione profilo Ruota 1</b>  |  |   |  |
| Processo  | Processo di inviluppo (rettifica per generazio | Processo  | Processo di inviluppo (rettifica per generazio |
| Inserimento   | Fattori  | Inserimento   | Fattori  |
| Valore della correzione definito sul                | Cerchio di testa (con scarto)                  | Valore della correzione definito sul                | Cerchio di testa (con scarto)                  |
| Inizio correzioni sul piede                         | Cerchio di forma piede massimo $d_{fne}$       | Inizio correzioni sul piede                         | Cerchio di forma piede massimo $d_{fne}$       |
| Inizio correzione con fattore d'altezza             | $h_{cor}$<br>0.9886                            | Inizio correzione con fattore d'altezza             | $h_{cor}$<br>0.9985                            |
| Inizio correzione con diametro                      | $d_{cor}$<br>284.1968 mm                       | Inizio correzione con diametro                      | $d_{cor}$<br>47.7335 mm                        |
| Fattore addendum di forma dell'utensile             | $h_{grind}$<br>1.0000                          | Fattore addendum di forma dell'utensile             | $h_{grind}$<br>1.0000                          |
| Fattore di addendum dell'utensile                   | $h_{grind}$<br>1.0658                          | Fattore di addendum dell'utensile                   | $h_{grind}$<br>1.0658                          |
| Fattore raggio testa dell'utensile                  | $p_{grind}$<br>0.1000                          | Fattore raggio testa dell'utensile                  | $p_{grind}$<br>0.1000                          |

Figura 41: Parametri di fabbricazione delle ruote della coppia 6 7

## Sezione Tolleranze

Figura 42: Tolleranze delle ruote della coppia 6 7

Questa sezione permette di inserire le diverse tolleranze relative agli scarti e interasse, all'interno di "Scarti" compare la voce "Tolleranza spessore dente" dove è stata scelta la tipologia di tolleranza in base alla normativa ISO1328. Per quanto riguarda la tolleranza all'interasse è stata scelta la voce ISO 286:2010 Scarto js7.

Le tolleranze non sono importanti per la parte di calcolo dell'ingranaggio, ma sono funzionali al disegno. La tolleranza più importante è quella della testa del dente, funzionale per la fase di tornitura.

## Sezione Modifiche

Figura 43: Modifiche delle ruote della coppia 6 7

Le modifiche effettuate sono state:

- Ruota 1: bombatura longitudinale, spoglia di testa e di piede;
- Ruota 2: bombatura longitudinale, spoglia di testa e di piede.

## Sezione Resistenza

Figura 44: Resistenza delle ruote coppia 6 7

In questa sezione del software KissSoft vengono inserite Potenza, velocità e momento torcente funzionali al metodo di calcolo ISO6336:2006. La ruota di riferimento da selezionare è chiaramente la ruota motrice e si suppone che il fianco di lavorazione sia il destro. Inoltre, viene inserito manualmente il ciclo di carico fornito dai dati di progetto.

## Sezione Fattori

Figura 45: Fattori delle ruote della coppia 6 7

In questa sezione è stato ipotizzato un fattore di carico sulla lunghezza  $K_{HB}$  pari a 1.5. Nel caso in questione albero e scatola sono elementi considerati rigidi, ma per fare un calcolo in sicurezza si suppone comunque che la pressione non sia distribuita in maniera perfettamente uniforme sul dente.

Il fattore di flessione alternata  $Y_M$  è stato supposto 1, siccome si ha a che fare con un ciclo all'origine. Se si avesse avuto un ciclo alterno allora  $Y_M$  sarebbe stato supposto pari a 0.7.

### Sezione Analisi del contatto

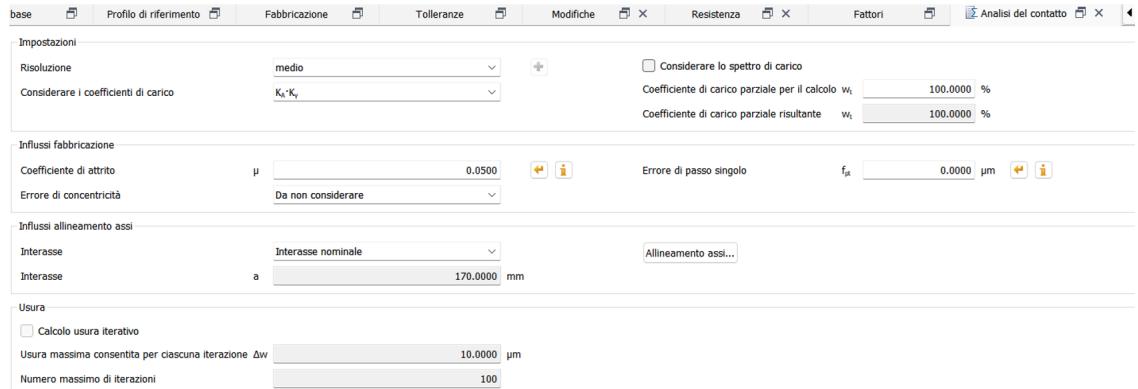


Figura 46: Analisi del contatto tra le ruote della coppia 6 7

In questa sezione del software si chiede a che carico si vuole far girare l'analisi di contatto in termini percentuali rispetto al valore del momento torcente che è stato inserito nella sezione "Resistenza". Andando poi in "Grafica" è possibile vedere la Stress Distribution on Tooth 3D. Se la situazione mostra una concentrazione delle tensioni molto accentuata a piede del dente è possibile andare a ri-modificare i fattori di "Modifiche" delle ruote.

Ciò che è stato ottenuto in questa analisi è mostrato in Fig.47.

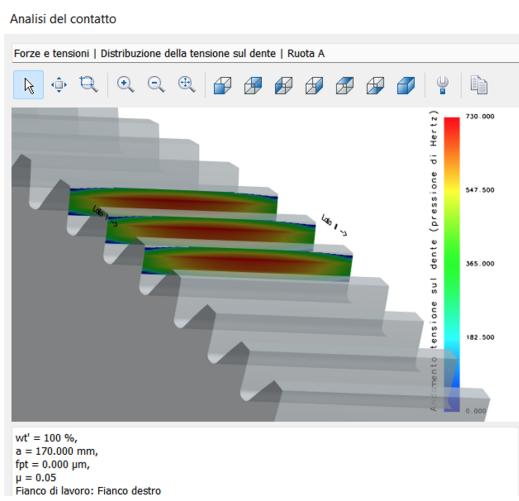


Figura 47: Andamento delle tensioni lungo il fianco del dente

La sollecitazione è concentrata sulla parte centrale del dente, soluzione ottimale per l'applicazione studiata.

Nella sezione "Risultati" è possibile visualizzare tutti i dati ottenuti dall'analisi (in particolare il fattore di ricoprimento e i valori dei coefficienti di sicurezza).

La verifica a resistenza risulta soddisfatta per i seguenti valori:

- Sicurezza al piede del dente (Bending),  $S_F > 1.3$ ;
- Sicurezza al fianco del dente (Pitting),  $S_H > 1.1$ .

| Risultati (calcolo di base)     |   |                       |         |
|---------------------------------|---|-----------------------|---------|
| Calcolo con spettro di carico,  |   |                       |         |
| Immissione propria              |   |                       |         |
| Ricopimenti                     | $[\varepsilon_{\text{am}}/\varepsilon_p/\varepsilon_{\text{ym}}]$ | 1.341 / 0.000 / 1.341 |         |
| Cerchio di testa effettivo (mm) | $[d_{\text{ae}}$  | Ruota 1               | Ruota 2 |
| Sicurezza a piede dente         | $[S_F]$   | 291.952               | 55.664  |
| Sicurezza fianchi               | $[S_H]$   | 3.624                 | 4.050   |
|                                 |   | 1.656                 | 1.568   |

Figura 48: Risultati dell'analisi del contatto tra le ruote della coppia 6 7

Il Software fornisce anche una rappresentazione 3D di massima dell'accoppiamento

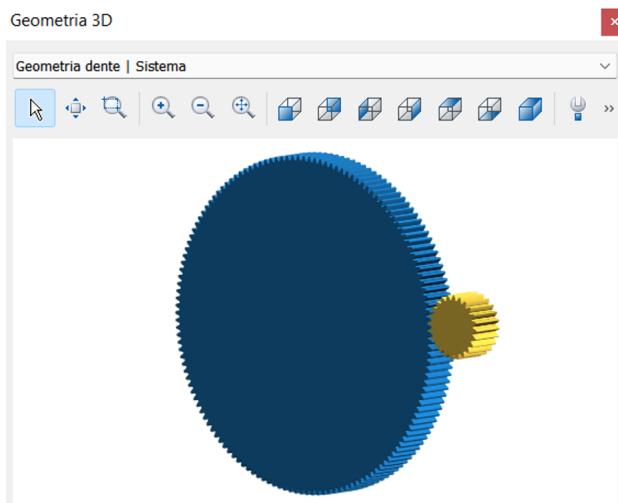


Figura 49: Rappresentazione geometrica 3D della coppia di ruote 6 7

### 3.3.2 Dimensionamento coppie coniche

**Metodologia applicata per il dimensionamento** Per la definizione della geometria si è utilizzato il diametro primitivo della seconda ruota oppure il modulo. Una volta scelto questo, si è inserito il numero di denti esatto ottenuto anche questa volta attraverso calcoli iterativi (sempre rispettando il rapporto di trasmissione e utilizzando il foglio di calcolo Excel), esattamente come fatto per le coppie cilindriche. Si è scelto infatti modulo e numero di denti che fornissero un diametro primitivo che rispettasse gli ingombri imposti dai dati di progetto e si è supposto poi un angolo di pressione pari a  $20^\circ$ . Si è infine scelta la tipologia di dentatura, in entrambe le coppie coniche dritta. L'angolo tra gli assi considerato è sempre  $90^\circ$ .

## Coppia conica 0 1 Definizione dei dati di base della coppia conica.

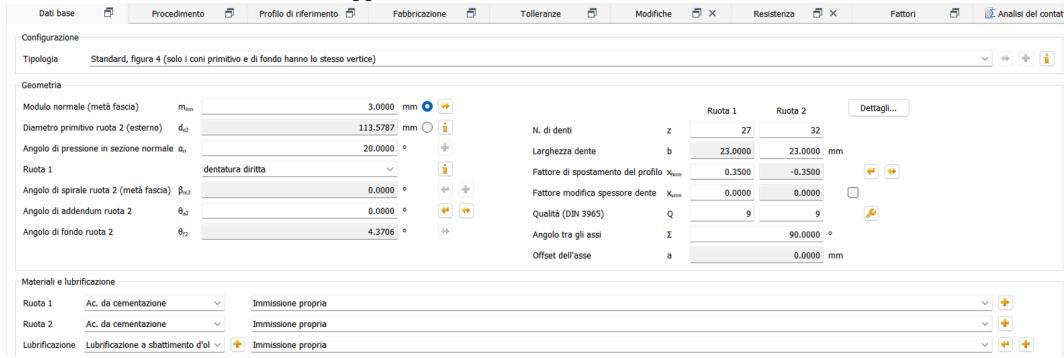


Figura 50: Dati di base coppia 0 1

A seguito di diversi tentativi quindi per la prima coppia conica è stato scelto un numero di denti pari a 27 per la ruota 1 e pari a 32 per la ruota 2. Il modulo è stato supposto pari a 3 mm, la larghezza del dente pari a 23 mm, l'angolo di pressione 20° e un diametro primitivo della seconda ruota pari a 114 mm, ideale per rispettare gli ingombri disponibili. La qualità degli ingranaggi pari a 9 (DIN3965). Il materiale scelto per entrambe le ruote è un acciaio da cementazione 20MnCr5, con un carico di rottura  $R_m$  pari a 1200 N/mm<sup>2</sup> e un carico di snervamento  $R_s$  pari a 850 N/mm<sup>2</sup>.

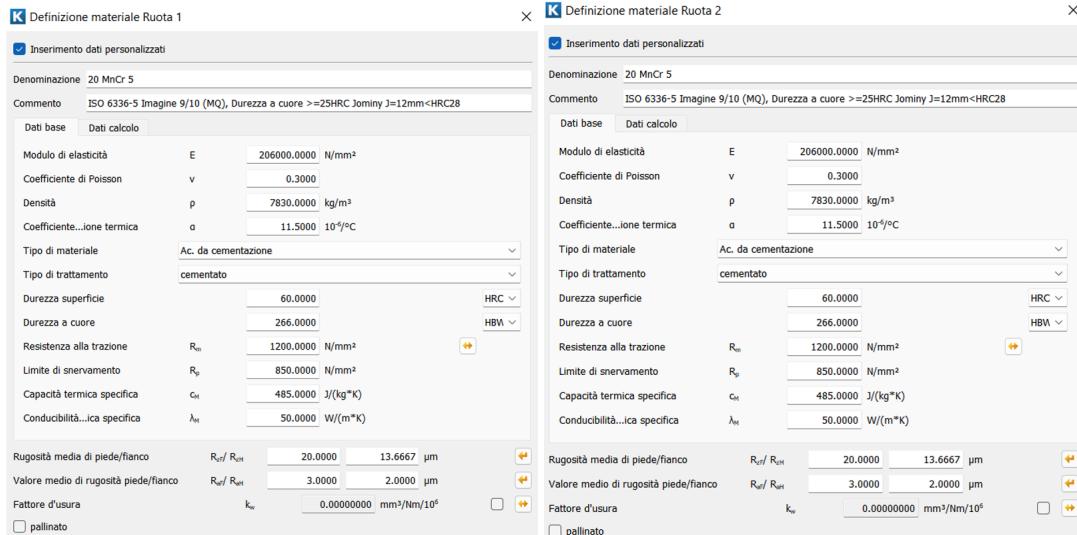


Figura 51: Parametri delle ruote della coppia 0 1

Il lubrificante utilizzato è *SPIRAX S3 AX 80W-90*, analogo e con le medesime caratteristiche del lubrificante utilizzato per le coppie cilindriche.

## Sezione Procedimento

Figura 52: Procedimento della coppia 0 1

Nel procedimento è necessario inserire il processo di fabbricazione degli ingranaggi, in questo caso rodato. La tipologia di produzione può essere:

- Formato;
- Generato (come nella situazione in esame). In generale questa risulta essere la soluzione migliore in quanto fornisce una bombatura al dente, facendo in modo che le pressioni di contatto vengano distribuite lungo una superficie maggiore.

La tipologia di produzione va specificata per entrambe le ruote, e le possibili configurazioni sono:

- Pignone generato e corona generata;
- Pignone generato e corona formata.

Nel primo caso sia pignone che corona presentano una correzione del profilo, mentre nel secondo caso solo il pignone. Quest'ultimo risulta essere vantaggioso per applicazioni in cui si hanno numeri elevati di denti, poiché questo tipo di produzione risulta essere molto più veloce.

## Sezione Profilo di riferimento

Figura 53: Profilo di riferimento delle ruote della coppia 0 1

Soltamente per ruote standard si utilizza o prefabbricazione o finitura (senza prefabbricazione), come nel caso in esame. Come profilo di riferimento è buona norma scegliere il Profilo B, in quanto modifica l'altezza del dente andando ad influire sul fattore di ricoprimento. Una volta scelto il profilo di riferimento i dati vengono inseriti in automatico dal Software.

## Sezione Fabblicazione

| Processo   | Processo di inviluppo (rettifica per generazione, ...) | Processo   | Processo di inviluppo (rettifica per generazione, ...) |
|--|--|--|--|
| Inserimento  | Fattori  | Inserimento  | Fattori  |
| Valore della correzione definito sul                         | Cerchio di testa (con scarto)                          | Valore della correzione definito sul                         | Cerchio di testa (con scarto)                          |
| Inizio correzioni sul piede                                  | Cerchio di forma piede massimo $d_{\text{max}}$        | Inizio correzioni sul piede                                  | Cerchio di forma piede massimo $d_{\text{max}}$        |
| Inizio correzione con fattore d'altezza $h_{\text{corr}}$    | 0.9334   | Inizio correzione con fattore d'altezza $h_{\text{corr}}$    | 0.7091   |
| Inizio correzione con diametro $d_{\text{corr}}$             | 102.3008 mm  | Inizio correzione con diametro $d_{\text{corr}}$             | 142.1494 mm  |
| Fattore addendum di forma dell'utensile $h_{\text{gend}}$    | 1.0526   | Fattore addendum di forma dell'utensile $h_{\text{gend}}$    | 1.0526   |
| Fattore di addendum dell'utensile $h^{\star}_{\text{gend}}$  | 1.1184   | Fattore di addendum dell'utensile $h^{\star}_{\text{gend}}$  | 1.1184   |
| Fattore raggio testa dell'utensile $p^{\star}_{\text{gend}}$ | 0.1000   | Fattore raggio testa dell'utensile $p^{\star}_{\text{gend}}$ | 0.1000   |

Figura 54: Parametri di fabbricazione delle ruote della coppia 0 1

## Sezione Tolleranze

| Ruota 1                               | Ruota 2                 |
|---------------------------------------|-------------------------|
| Tolleranza spessore dente ISO 1328 EF | ISO 1328 FG             |
| superiore                             | superiore               |
| $A_{\text{sh}}$ -0.0649               | $A_{\text{sh}}$ -0.1332 |
| inferiore                             | inferiore               |
| $J_{\text{s}}$ 0.0610                 | $J_{\text{s}}$ 0.1251   |
| $J_{\text{p}}$ 0.0649                 | $J_{\text{p}}$ 0.1332   |
| $A_{\text{sh}}$ 0.0000                | $A_{\text{sh}}$ 0.0000  |
| $A_{\text{sf}}$ 0.0000                | $A_{\text{sf}}$ 0.0000  |

Campo di tolleranze per il calcolo della forma del dente (geometria 2D, geometria 3D, griglia di misurazione)

Diametro Valore medio  
Spessore dente Valore medio

Figura 55: Tolleranze delle ruote della coppia 0 1

Come tolleranza per lo spessore del dente si è scelto la norma ISO 1328, che come effetto determina uno "smagrimento" del dente.

## Sezione Modifiche

| Ruota 1  | Ruota 2  |
|--|--|
| Smusso di testa o arrotondamento testa Nessuno | Smusso di testa o arrotondamento testa Nessuno |
| Spoligia di testa $C_s$ 15.0000                | Spoligia di testa $C_s$ 10.0000 $\mu\text{m}$  |

| Ruota 1  | Ruota 2   |
|--|---|
| All'interno All'esterno                        | All'interno All'esterno                           |
| Modifica addendum $h_{\text{ax}}$ 0.0000       | Modifica addendum $h_{\text{ax}}$ 0.0000 mm       |
| Lunghezza della modifica addendum $l_a$ 0.0000 | Lunghezza della modifica addendum $l_a$ 0.0000 mm |

| Altre modifiche                                   |          |  |                          |           |           |        |
|---|----------|--|--------------------------|-----------|-----------|--------|
| Variante per il calcolo Nessuna variante definita |          |  |                          |           |           |        |
| Ruota dentata                                     | Fianco   | Tipo di modifica   | Valore [ $\mu\text{m}$ ] | Fattore 1 | Fattore 2 | Stato  |
| Ruota 2   | entrambi | Bombatura longitudinale  | 10.0000                  |           |           | attivo |
| Ruota 2   | entrambi | Bombatura del profilo, centrata sulla lunghezza di rotolamento | 10.0000                  |           |           | attivo |
| Ruota 1   | entrambi | Bombatura longitudinale  | 10.0000                  |           |           | attivo |
| Ruota 1   | entrambi | Bombatura del profilo, centrata sulla lunghezza di rotolamento | 15.0000                  |           |           | attivo |
| Ruota 1   | entrambi | Correzione angolo d'elica, conica                              | 10.0000                  |           |           | attivo |

Figura 56: Modifiche delle ruote della coppia 0 1

Le modifiche effettuate sono state:

- Ruota 1: bombatura longitudinale, bombatura del profilo centrata sulla lunghezza di rotolamento e correzione angolo d'elica, conica;
- Ruota 2: bombatura longitudinale e bombatura del profilo centrata sulla lunghezza di rotolamento.

## Sezione Resistenza

Figura 57: Resistenza delle ruote coppia 0 1

In questa sezione del software KissSoft vengono inserite Potenza, velocità e momento torcente funzionali al metodo di calcolo ISO10300. La ruota di riferimento da selezionare è chiaramente la ruota motrice e si suppone che il fianco di lavorazione sia il destro. Inoltre, viene inserito manualmente il ciclo di carico fornito dai dati di progetto.

## Sezione Fattori

Figura 58: Fattori delle ruote della coppia 0 1

È necessario definire alcuni fattori, uno su tutti il fattore di applicazione, che è stato posto unitario siccome si conosce il duty cycle. Se non si conoscesse andrebbe posto maggiore di 1. Inoltre, sia il fattore dinamico che quello trasversale sono posti uguale all'unità. Il fattore di portata  $K_{HB}$  è di norma un fattore che deve essere compreso tra 1 e 1,5, a seconda di come sono supportati fisicamente gli ingranaggi:

- $K_{HB} = 1$  se nessun asse è montato a sbalzo;
- $K_{HB} = 1.1$  se un asse è montato a sbalzo;
- $K_{HB} = 1.25$  se entrambi gli assi sono montati a sbalzo.

Il fattore di flessione alternata  $Y_M$  è stato supposto 1, siccome si ha a che fare con un ciclo all'origine. Se si avesse avuto un ciclo alterno allora  $Y_M$  sarebbe stato supposto pari a 0.7.

## Sezione Analisi del contatto

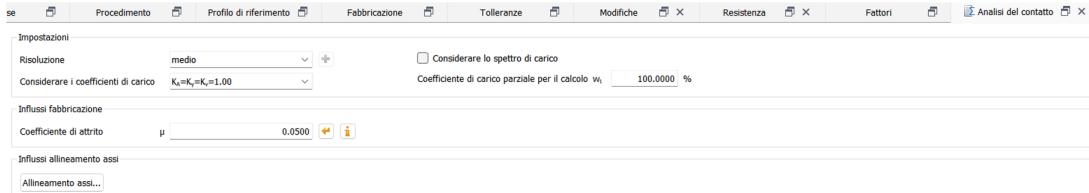


Figura 59: Analisi del contatto tra le ruote della coppia 0 1

Andando poi in "Grafica" è possibile vedere la Stress Distribution on Tooth 2D. Se la situazione mostra una concentrazione delle tensioni molto accentuata a piede del dente è possibile andare a ri-modificare i fattori di "Modifiche" delle ruote.

Ciò che è stato ottenuto in questa analisi è mostrato in Fig.60.

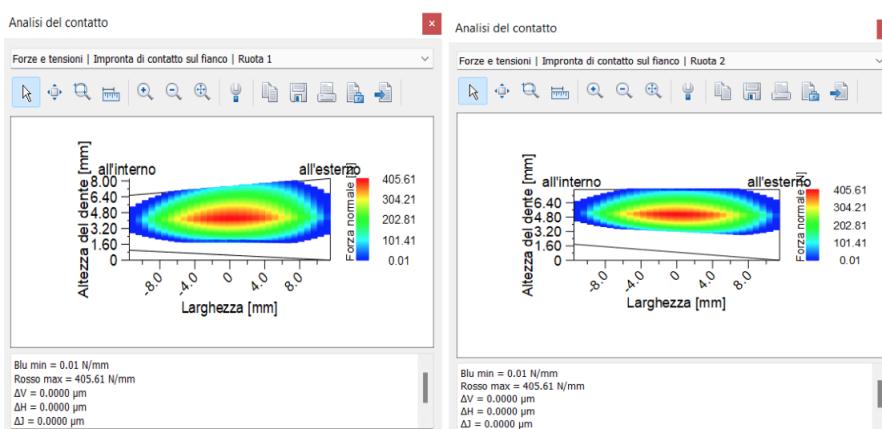


Figura 60: Andamento delle tensioni lungo il fianco del dente

La sollecitazione è concentrata sulla parte centrale del dente, soluzione ottimale per l'applicazione studiata.

Nella sezione "Risultati" è possibile visualizzare tutti i dati ottenuti dall'analisi (in particolare il fattore di ricoprimento e i valori dei coefficienti di sicurezza).

La verifica a resistenza risulta soddisfatta per i seguenti valori:

- Sicurezza al piede del dente (Bending),  $S_F > 1.3$ ;
- Sicurezza al finaco del dente (Pitting),  $S_H > 1.1$ .

| Risultati (calcolo di base)    |                     |                      |
|--------------------------------|---------------------|----------------------|
| Calcolo con spettro di carico, |                     |                      |
| Immissione propria             |                     |                      |
| Informazioni generali          |                     |                      |
| Ricoprimento di profilo        | [ $\varepsilon_a$ ] | 1.686                |
| Ricoprimento d'elica           | [ $\varepsilon_b$ ] | 0.000                |
| Componenti                     |                     | Ruota 1      Ruota 2 |
| Diametro di testa esterno (mm) | [ $d_{ae}$ ]        | 103.366      116.094 |
| Sicurezza a piede dente        | [ $S_F$ ]           | 1.504      1.442     |
| Sicurezza fianchi              | [ $S_H$ ]           | 1.266      1.281     |

Figura 61: Risultati dell'analisi del contatto tra le ruote della coppia 0 1

Il Software fornisce anche una rappresentazione 3D di massima dell'accoppiamento

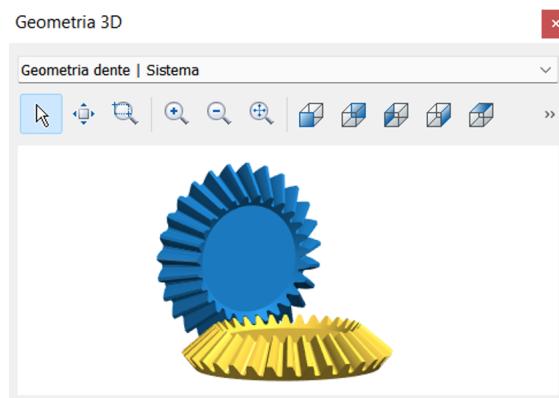


Figura 62: Rappresentazione geometrica 3D della coppia di ruote 0 1

### Coppia conica 2 3 Definizione dei dati di base della coppia conica.

| Dati base  | Procedimento  | Profilo di riferimento | Fabbricazione | Tolleranze | Modifiche | Resistenza | Fattori | Analisi dei contatti |   |                    |                              |  |   |                    |   |           |  |         |                   |  |  |          |  |                                       |          |  |                                    |          |  |                 |                              |  |                     |            |  |  |                     |  |   |                    |  |                        |          |  |                              |           |  |                      |           |  |
|--|---|------------------------|---------------|------------|-----------|------------|---------|----------------------|---|--------------------|------------------------------|--|---|--------------------|---|-----------|--|---------|-------------------|--|--|----------|--|---------------------------------------|----------|--|------------------------------------|----------|--|-----------------|------------------------------|--|---------------------|------------|--|--|---------------------|--|---|--------------------|--|------------------------|----------|--|------------------------------|-----------|--|----------------------|-----------|--|
| Configurazione                                       | Standard, figura 4 (solo i coni primitivo e di fondo hanno lo stesso vertice)   |                        |               |            |           |            |         |                      |   |                    |                              |  |   |                    |   |           |  |         |                   |  |  |          |  |                                       |          |  |                                    |          |  |                 |                              |  |                     |            |  |  |                     |  |   |                    |  |                        |          |  |                              |           |  |                      |           |  |
| Geometria  | <table border="1"> <tr> <td>Modulo normale (metà fascia) <math>m_{base}</math></td> <td>4.0000 mm</td> <td>Dettagli...</td> </tr> <tr> <td>Diametro primitivo ruota 2 (esterno) <math>d_2</math></td> <td>193.5110 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Angolo di pressione in sezione normale <math>\alpha_1</math></td> <td>20.0000 °</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ruota 1</td> <td>dentatura diritta</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Angolo di spirale ruota 2 (metà fascia) <math>\beta_{12}</math></td> <td>0.0000 °</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Angolo di addendum ruota 2 <math>\theta_2</math></td> <td>0.0000 °</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Angolo di fondo ruota 2 <math>\theta_2</math></td> <td>3.8473 °</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N. di denti <math>z</math></td> <td>Ruota 1: 19      Ruota 2: 42</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Larghezza dente <math>b</math></td> <td>28.0000 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fattore di spostamento del profilo <math>x_{enn}</math></td> <td>0.3000      -0.3000</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fattore modifica spessore dente <math>x_{enn}</math></td> <td>0.0000      0.0000</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Qualità (DIN 3965) <math>Q</math></td> <td>9      9</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Angolo tra gli assi <math>\Sigma</math></td> <td>90.0000 °</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Offset dell'asse <math>a</math></td> <td>0.0000 mm</td> <td></td> </tr> </table> |                        |               |            |           |            |         |                      | Modulo normale (metà fascia) $m_{base}$ | 4.0000 mm          | Dettagli...                  | Diametro primitivo ruota 2 (esterno) $d_2$ | 193.5110 mm   |                    | Angolo di pressione in sezione normale $\alpha_1$ | 20.0000 ° |  | Ruota 1 | dentatura diritta |  | Angolo di spirale ruota 2 (metà fascia) $\beta_{12}$ | 0.0000 ° |  | Angolo di addendum ruota 2 $\theta_2$ | 0.0000 ° |  | Angolo di fondo ruota 2 $\theta_2$ | 3.8473 ° |  | N. di denti $z$ | Ruota 1: 19      Ruota 2: 42 |  | Larghezza dente $b$ | 28.0000 mm |  | Fattore di spostamento del profilo $x_{enn}$ | 0.3000      -0.3000 |  | Fattore modifica spessore dente $x_{enn}$ | 0.0000      0.0000 |  | Qualità (DIN 3965) $Q$ | 9      9 |  | Angolo tra gli assi $\Sigma$ | 90.0000 ° |  | Offset dell'asse $a$ | 0.0000 mm |  |
| Modulo normale (metà fascia) $m_{base}$              | 4.0000 mm   | Dettagli...            |               |            |           |            |         |                      |   |                    |                              |  |   |                    |   |           |  |         |                   |  |  |          |  |                                       |          |  |                                    |          |  |                 |                              |  |                     |            |  |  |                     |  |   |                    |  |                        |          |  |                              |           |  |                      |           |  |
| Diametro primitivo ruota 2 (esterno) $d_2$           | 193.5110 mm   |                        |               |            |           |            |         |                      |   |                    |                              |  |   |                    |   |           |  |         |                   |  |  |          |  |                                       |          |  |                                    |          |  |                 |                              |  |                     |            |  |  |                     |  |   |                    |  |                        |          |  |                              |           |  |                      |           |  |
| Angolo di pressione in sezione normale $\alpha_1$    | 20.0000 °   |                        |               |            |           |            |         |                      |   |                    |                              |  |   |                    |   |           |  |         |                   |  |  |          |  |                                       |          |  |                                    |          |  |                 |                              |  |                     |            |  |  |                     |  |   |                    |  |                        |          |  |                              |           |  |                      |           |  |
| Ruota 1  | dentatura diritta   |                        |               |            |           |            |         |                      |   |                    |                              |  |   |                    |   |           |  |         |                   |  |  |          |  |                                       |          |  |                                    |          |  |                 |                              |  |                     |            |  |  |                     |  |   |                    |  |                        |          |  |                              |           |  |                      |           |  |
| Angolo di spirale ruota 2 (metà fascia) $\beta_{12}$ | 0.0000 °  |                        |               |            |           |            |         |                      |   |                    |                              |  |   |                    |   |           |  |         |                   |  |  |          |  |                                       |          |  |                                    |          |  |                 |                              |  |                     |            |  |  |                     |  |   |                    |  |                        |          |  |                              |           |  |                      |           |  |
| Angolo di addendum ruota 2 $\theta_2$                | 0.0000 °  |                        |               |            |           |            |         |                      |   |                    |                              |  |   |                    |   |           |  |         |                   |  |  |          |  |                                       |          |  |                                    |          |  |                 |                              |  |                     |            |  |  |                     |  |   |                    |  |                        |          |  |                              |           |  |                      |           |  |
| Angolo di fondo ruota 2 $\theta_2$                   | 3.8473 °  |                        |               |            |           |            |         |                      |   |                    |                              |  |   |                    |   |           |  |         |                   |  |  |          |  |                                       |          |  |                                    |          |  |                 |                              |  |                     |            |  |  |                     |  |   |                    |  |                        |          |  |                              |           |  |                      |           |  |
| N. di denti $z$                                      | Ruota 1: 19      Ruota 2: 42  |                        |               |            |           |            |         |                      |   |                    |                              |  |   |                    |   |           |  |         |                   |  |  |          |  |                                       |          |  |                                    |          |  |                 |                              |  |                     |            |  |  |                     |  |   |                    |  |                        |          |  |                              |           |  |                      |           |  |
| Larghezza dente $b$                                  | 28.0000 mm  |                        |               |            |           |            |         |                      |   |                    |                              |  |   |                    |   |           |  |         |                   |  |  |          |  |                                       |          |  |                                    |          |  |                 |                              |  |                     |            |  |  |                     |  |   |                    |  |                        |          |  |                              |           |  |                      |           |  |
| Fattore di spostamento del profilo $x_{enn}$         | 0.3000      -0.3000   |                        |               |            |           |            |         |                      |   |                    |                              |  |   |                    |   |           |  |         |                   |  |  |          |  |                                       |          |  |                                    |          |  |                 |                              |  |                     |            |  |  |                     |  |   |                    |  |                        |          |  |                              |           |  |                      |           |  |
| Fattore modifica spessore dente $x_{enn}$            | 0.0000      0.0000  |                        |               |            |           |            |         |                      |   |                    |                              |  |   |                    |   |           |  |         |                   |  |  |          |  |                                       |          |  |                                    |          |  |                 |                              |  |                     |            |  |  |                     |  |   |                    |  |                        |          |  |                              |           |  |                      |           |  |
| Qualità (DIN 3965) $Q$                               | 9      9  |                        |               |            |           |            |         |                      |   |                    |                              |  |   |                    |   |           |  |         |                   |  |  |          |  |                                       |          |  |                                    |          |  |                 |                              |  |                     |            |  |  |                     |  |   |                    |  |                        |          |  |                              |           |  |                      |           |  |
| Angolo tra gli assi $\Sigma$                         | 90.0000 °   |                        |               |            |           |            |         |                      |   |                    |                              |  |   |                    |   |           |  |         |                   |  |  |          |  |                                       |          |  |                                    |          |  |                 |                              |  |                     |            |  |  |                     |  |   |                    |  |                        |          |  |                              |           |  |                      |           |  |
| Offset dell'asse $a$                                 | 0.0000 mm   |                        |               |            |           |            |         |                      |   |                    |                              |  |   |                    |   |           |  |         |                   |  |  |          |  |                                       |          |  |                                    |          |  |                 |                              |  |                     |            |  |  |                     |  |   |                    |  |                        |          |  |                              |           |  |                      |           |  |
| Materiali e lubrificazione                           | <table border="1"> <tr> <td>Ruota 1: Ac. da cementazione</td> <td>Immissione propria</td> </tr> <tr> <td>Ruota 2: Ac. da cementazione</td> <td>Immissione propria</td> </tr> <tr> <td>Lubrificazione: Lubrificazione a sbattimento d'olio</td> <td>Immissione propria</td> </tr> </table>   |                        |               |            |           |            |         |                      | Ruota 1: Ac. da cementazione            | Immissione propria | Ruota 2: Ac. da cementazione | Immissione propria                         | Lubrificazione: Lubrificazione a sbattimento d'olio | Immissione propria |   |           |  |         |                   |  |  |          |  |                                       |          |  |                                    |          |  |                 |                              |  |                     |            |  |  |                     |  |   |                    |  |                        |          |  |                              |           |  |                      |           |  |
| Ruota 1: Ac. da cementazione                         | Immissione propria  |                        |               |            |           |            |         |                      |   |                    |                              |  |   |                    |   |           |  |         |                   |  |  |          |  |                                       |          |  |                                    |          |  |                 |                              |  |                     |            |  |  |                     |  |   |                    |  |                        |          |  |                              |           |  |                      |           |  |
| Ruota 2: Ac. da cementazione                         | Immissione propria  |                        |               |            |           |            |         |                      |   |                    |                              |  |   |                    |   |           |  |         |                   |  |  |          |  |                                       |          |  |                                    |          |  |                 |                              |  |                     |            |  |  |                     |  |   |                    |  |                        |          |  |                              |           |  |                      |           |  |
| Lubrificazione: Lubrificazione a sbattimento d'olio  | Immissione propria  |                        |               |            |           |            |         |                      |   |                    |                              |  |   |                    |   |           |  |         |                   |  |  |          |  |                                       |          |  |                                    |          |  |                 |                              |  |                     |            |  |  |                     |  |   |                    |  |                        |          |  |                              |           |  |                      |           |  |

Figura 63: Dati di base coppia 2 3

A seguito di diversi tentativi quindi, per la seconda coppia conica è stato scelto un numero di denti pari a 19 per la ruota 1 e pari a 42 per la ruota 2. Il modulo è stato supposto pari a 4 mm, la larghezza del dente pari a 28 mm, l'angolo di pressione  $20^\circ$  e un diametro primitivo della seconda ruota pari a 194 mm, ideale per rispettare gli ingombri disponibili. La qualità degli ingranaggi pari a 9 (DIN3965). Il materiale scelto per entrambe le ruote è un acciaio da cementazione 20MnCr5, con un carico di rottura  $R_m$  pari a  $1200 \text{ N/mm}^2$  e un carico di snervamento  $R_s$  pari a  $850 \text{ N/mm}^2$ .

Figura 64: Parametri delle ruote della coppia 2 3

Il lubrificante utilizzato è *SPIRAX S3 AX 80W-90*, analogo e con le medesime caratteristiche del lubrificante utilizzato per le coppie cilindriche.

### Sezione Procedimento

Figura 65: Procedimento della coppia 2 3

La tipologia di produzione può essere:

- Formato;
- Generato (come nella situazione in esame). In generale questa risulta essere la soluzione migliore in quanto fornisce una bombatura al dente, facendo in modo che le pressioni di contatto vengano distribuite lungo una superficie maggiore.

La tipologia di produzione va specificata per entrambe le ruote, e le possibili configurazioni sono:

- Pignone generato e corona generata;
- Pignone generato e corona formata.

Nel primo caso sia pignone che corona presentano una correzione del profilo, mentre nel secondo caso solo il pignone. Quest'ultimo risulta essere vantaggioso per applicazioni in cui si hanno numeri elevati di denti, poiché questo tipo di produzione risulta essere molto più veloce.

### Sezione Profilo di riferimento

Figura 66: Profilo di riferimento delle ruote della coppia 2 3

Solitamente per ruote standard si utilizza o prefabbricazione o finitura (senza prefabbricazione), come nel caso in esame. Come profilo di riferimento è buona norma scegliere il Profilo B, in quanto modifica l'altezza del dente andando ad influire sul fattore di ricoprimento. Una volta scelto il profilo di riferimento i dati vengono inseriti in automatico dal Software.

### Sezione Fabbricazione

Figura 67: Parametri di fabbricazione delle ruote della coppia 2 3

## Sezione Tolleranze

The screenshot shows the 'Tolleranze' (Tolerances) section of a software interface. It displays tolerance values for two wheels, Ruota 1 and Ruota 2, based on ISO 1328 EF and ISO 1328 FG norms respectively. The table includes columns for superior and inferior limits, and various parameters like thickness, side clearance, and hub clearance.

| Scarti                            | Ruota 1                   |                                   | Ruota 2                   |             |
|-----------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------|-------------|
|                                   | Tolleranza spessore dente | ISO 1328 EF                       | Tolleranza spessore dente | ISO 1328 FG |
| superiore                         | -0.0674                   | superiore                         | -0.1547                   |             |
| inferiore                         | -0.1348 mm                | inferiore                         | -0.2321 mm                |             |
| Scarto di spessore dente $A_{sh}$ |                           | Scarto di spessore dente $A_{sh}$ |                           |             |
| Gioco normale sui fianchi $j_n$   | 0.0634                    | Gioco normale sui fianchi $j_n$   | 0.1454                    |             |
| Gioco primitivo sui fianchi $j_i$ | 0.0674                    | Gioco primitivo sui fianchi $j_i$ | 0.1547                    |             |
| Scarto cerchio di testa $A_{sh}$  | 0.0000                    | Scarto cerchio di testa $A_{sh}$  | 0.0000                    |             |
| Scarto cerchio di piede $A_d$     | 0.0000                    | Scarto cerchio di piede $A_d$     | 0.0000                    |             |

Campo di tolleranze per il calcolo della forma del dente (geometria 2D, geometria 3D, griglia di misurazione)

Diametro: Valore medio  
Spessore dente: Valore medio

Figura 68: Tolleranze delle ruote della coppia 2 3

Come tolleranza per lo spessore del dente si è scelto la norma ISO 1328, che come effetto determina uno "smagimento" del dente.

## Sezione Modifiche

The screenshot shows the 'Modifiche' (Modifications) section of a software interface. It displays modification details for two wheels, Ruota 1 and Ruota 2, including top surface and bottom surface modifications, and addendum modifications.

| Smussi, arrotondamenti e correzioni | Ruota 1                                |         | Ruota 2                                |                 |
|-------------------------------------|--|---------|--|-----------------|
|                                     | Smusso di testa o arrotondamento testa | Nessuno | Smusso di testa o arrotondamento testa | Nessuno         |
| Spoglia di testa                    | $C_s$                                  | 15.0000 | Spoglia di testa                       | 15.0000 $\mu m$ |

Modifica addendum e dedendum

| Ruota 1                                 | Ruota 2     |             |             |             |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|
|   | All'interno | All'esterno | All'interno | All'esterno |
| Modifica addendum $h_a$                 | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000 mm   | 0.0000 mm   |
| Lunghezza della modifica addendum $l_a$ | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000 mm   | 0.0000 mm   |

Altre modifiche

| Variante per calcolo | Nessuna variante definita |  |                  |                    |           |           |  |              |
|----------------------|---------------------------|--|------------------|--------------------|-----------|-----------|--|--------------|
|                      | Ruota dentata             | Fianco   | Tipo di modifica | Valore [ $\mu m$ ] | Fattore 1 | Fattore 2 | Stato  | Informazione |
| Ruota 2              | entrambi                  | Bombatura longitudinale  | 10.0000          |                    |           | attivo    | rcrown=9800mm  |              |
| Ruota 2              | entrambi                  | Bombatura del profilo, centrata sulla lunghezza di rotolamento | 15.0000          |                    |           | attivo    | rcrown=4640mm  |              |
| Ruota 2              | entrambi                  | Correzione angolo d'elica, conica                              | 10.0000          |                    |           | attivo    | Ch@10.000um -> Fianco destro del dente/Right Tooth Flank ... |              |
| Ruota 1              | entrambi                  | Bombatura longitudinale  | 10.0000          |                    |           | attivo    | rcrown=9800mm  |              |
| Ruota 1              | entrambi                  | Bombatura del profilo, centrata sulla lunghezza di rotolamento | 15.0000          |                    |           | attivo    | rcrown=3323mm  |              |

Figura 69: Modifiche delle ruote della coppia 2 3

Le modifiche effettuate sono state:

- Ruota 1: bombatura longitudinale e del profilo, centrata sulla lunghezza di rotolamento;
- Ruota 2: bombatura longitudinale, bombatura del profilo centrata sulla lunghezza di rotolamento e correzione angolo d'elica conica.

## Sezione Resistenza

Figura 70: Resistenza delle ruote coppia 2 3

In questa sezione del software KissSoft vengono inserite potenza, velocità e momento torcente funzionali al metodo di calcolo ISO10300. La ruota di riferimento da selezionare è chiaramente la ruota motrice e si suppone che il fianco di lavorazione sia il destro. Inoltre, viene inserito manualmente il ciclo di carico fornito dai dati di progetto.

## Sezione Fattori

Figura 71: Fattori delle ruote della coppia 2 3

È necessario definire alcuni fattori, uno su tutti il fattore di applicazione, che è stato posto unitario siccome si conosce il duty cycle. Se non si conoscesse andrebbe posto maggiore di 1. Inoltre, sia il fattore dinamico che quello trasversale sono posti uguale all'unità.

Il fattore di portata  $K_{HB}$  è di norma un fattore che deve essere compreso tra 1 e 1,5, a seconda di come sono supportati fisicamente gli ingranaggi:

- $K_{HB} = 1$  se nessun asse è montato a sbalzo;
- $K_{HB} = 1.1$  se un asse è montato a sbalzo;
- $K_{HB} = 1.25$  se entrambi gli assi sono montati a sbalzo.

Il fattore di flessione alternata  $Y_M$  è stato supposto 1, siccome si ha a che fare con un ciclo all'origine. Se si avesse avuto un ciclo alterno allora  $Y_M$  sarebbe stato supposto pari a 0.7.

## Sezione Analisi del contatto

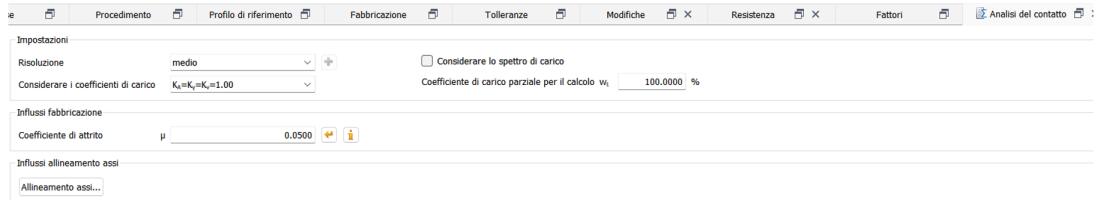


Figura 72: Analisi del contatto tra le ruote della coppia 2 3

Andando poi in "Grafica" è possibile vedere la Stress Distribution on Tooth 2D. Se la situazione mostra una concentrazione delle tensioni molto accentuata a piede del dente è possibile andare a ri-modificare i fattori di "Modifiche" delle ruote.

Ciò che è stato ottenuto in questa analisi è mostrato in Fig.73.

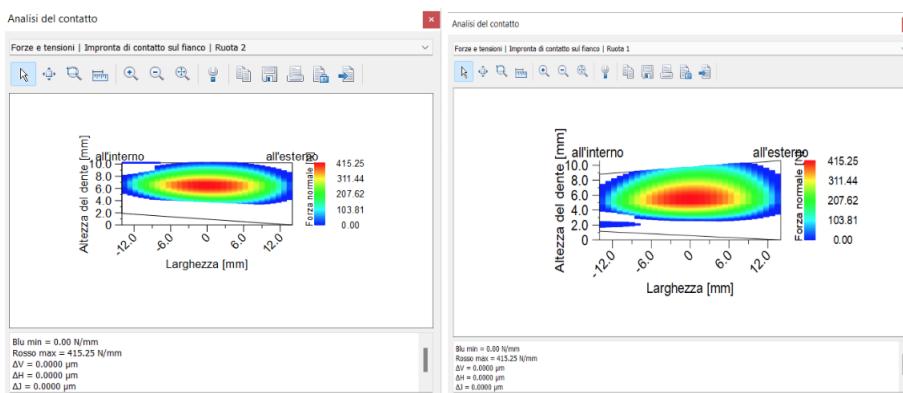


Figura 73: Andamento delle tensioni lungo il fianco del dente

La sollecitazione è concentrata sulla parte centrale del dente, soluzione ottimale per l'applicazione studiata.

Nella sezione "Risultati" è possibile visualizzare tutti i dati ottenuti dall'analisi (in particolare il fattore di ricoprimento e i valori dei coefficienti di sicurezza).

La verifica a resistenza risulta soddisfatta per i seguenti valori:

- Sicurezza al piede del dente (Bending),  $S_F > 1.3$ ;
- Sicurezza al finaco del dente (Pitting),  $S_H > 1.1$ .

| Risultati (calcolo di base)    |                     |        |         |
|--------------------------------|---------------------|--------|---------|
| Calcolo con spettro di carico, |                     |        |         |
| Immissione propria             |                     |        |         |
| Informazioni generali          |                     |        |         |
| Ricoprimento di profilo        | [ $\varepsilon_a$ ] | 1.636  |         |
| Ricoprimento d'elica           | [ $\varepsilon_b$ ] | 0.000  |         |
| Componenti                     |                     |        |         |
| Diametro di testa esterno (mm) | [ $d_{ae}$ ]        | 98.732 | 195.819 |
| Sicurezza a piede dente        | [ $S_F$ ]           | 2.716  | 2.847   |
| Sicurezza fianchi              | [ $S_H$ ]           | 1.216  | 1.291   |

Figura 74: Risultati dell'analisi del contatto tra le ruote della coppia 2 3

Il Software fornisce anche una rappresentazione 3D di massima dell'accoppiamento

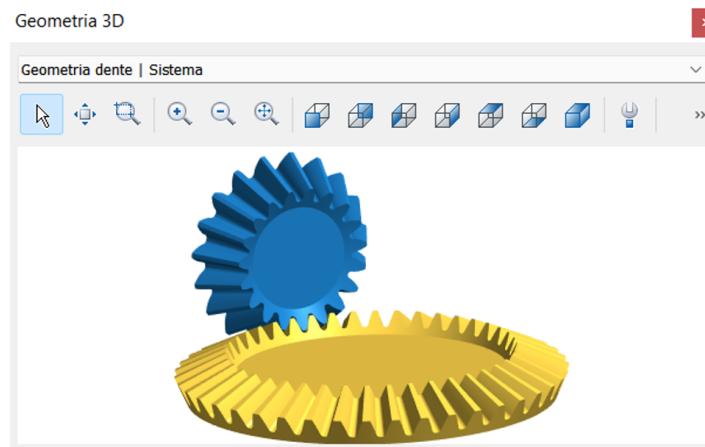


Figura 75: Rappresentazione geometrica 3D della coppia di ruote 2 3

## 4 Dimensionamento alberi

Il materiale scelto per la progettazione degli alberi è l'acciaio da cementazione 42CrMo4, le cui caratteristiche meccaniche sono riportate in Fig.76.

| <b>Qualità materiale</b>  |   |                        |                           |                              |                                     |                     |  |    |
|---|---|------------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------------------|---------------------|--|----|
| <b>42CrMo4</b>  |   |                        |                           |                              |                                     |                     |  |    |
| Norma di riferimento  |   |                        |                           |                              |                                     |                     |  |    |
| EN 10083-3: 2006  |   |                        |                           |                              |                                     |                     |  |    |
| Numero  |   |                        |                           |                              |                                     |                     |  |    |
| 1.7225  |   |                        |                           |                              |                                     |                     |  |    |
| <b>Composizione chimica</b>   |   |                        |                           |                              |                                     |                     |  |    |
| C%  | Si%<br>max  | Mn%                    | P%<br>max                 | S%<br>max                    | Cr%                                 | Mo%                 | Scostamenti<br>ammessi<br>per analisi<br>di prodotto |    |
| 0,38-0,45<br>± 0,02   | 0,40<br>+ 0,03  | 0,60-0,90<br>± 0,04    | 0,025<br>+ 0,005          | 0,035<br>+ 0,005             | 0,90-1,20<br>± 0,05                 | 0,15-0,30<br>± 0,03 |  |    |
| Per il tipo 42CrMoS4 n° 1.7227 S% 0,020-0,040 scostamento di prodotto ± 0,005             |   |                        |                           |                              |                                     |                     |  |    |
| Viene commercializzato anche con trattamento al calcio                                    |   |                        |                           |                              |                                     |                     |  |    |
| <b>Temperature in °C</b>  |   |                        |                           |                              |                                     |                     |  |    |
| Deformazione<br>a caldo   | Normalizzazione   | Tempra                 | Tempra                    | Rinvenimento                 | Distensione                         |                     |  |    |
| 1100-850  | 870<br>aria (HB ~ 190)                                  | 860<br>olio polimero   | 850<br>acqua              | 550-650<br>aria              | 50 sotto la<br>temperatura di rinv. |                     |  |    |
| Ricottura di<br>lavorabilità  | Ricottura<br>isotermica                                 | Ricottura<br>globulare | Tempra provetta<br>Jominy | Preriscaldo<br>per saldatura | Distensione<br>dopo saldatura       |                     |  |    |
| 720 raffred.<br>15 °C/h fino a<br>600 poi aria<br>(HB max 241)                            | 820 raff. forno<br>fino a 670 poi aria                  | 730-740<br>forno       | 840<br>acqua              | 300                          | 550 raffr. forno                    |                     |  |    |
|   |   |                        |                           |                              | Ac1                                 | Ac3                 | Ms   | Mf |
|   |   |                        |                           |                              | 745                                 | 790                 | 300  | 80 |
| <b>Proprietà meccaniche e fisiche</b>   |   |                        |                           |                              |                                     |                     |  |    |
| Laminati a caldo caratteristiche meccaniche allo stato <b>bonificato</b> EN 10083-3: 2006 |   |                        |                           |                              |                                     |                     |  |    |
| diametro /spess.  | Prova di trazione e resilienza in longitudinale a 20 °C |                        |                           |                              |                                     |                     |  |    |
| mm  | R   | Rp 0,2                 | A%                        | C%                           | Kv                                  | HB                  |  |    |
| oltre   | N/mm <sup>2</sup>                                       | N/mm <sup>2</sup> min. | min.                      | min.                         | J min.                              | per informazione    |  |    |
| 16/8  | 1100-1300   | 900                    | 10                        | 40                           |                                     | 331-380             |  |    |
| 16/8  | 40/20   | 1000-1200              | 750                       | 11                           | 35                                  | 298-359             |  |    |
| 40/20   | 100/60  | 900-1100               | 650                       | 12                           | 35                                  | 271-331             |  |    |
| 100/60  | 160/100   | 800-950                | 550                       | 13                           | 35                                  | 240-286             |  |    |
| 160/100   | 250/160   | 750-900                | 500                       | 14                           | 35                                  | 225-271             |  |    |

Figura 76: Proprietà dell'acciaio 42CrMo4

Gli alberi sono stati interamente progettati attraverso il software KissSoft.

## 4.1 Metodologia applicata per la progettazione degli alberi mediante software

All'interno del software è presente una sezione appositamente dedicata alla progettazione degli alberi chiamata "Alberi e cuscinetti".

In primo luogo è necessario effettuare un disegno di massima dell'albero, compreso delle grandezze fondamentali come lunghezza e diametri, insieme a grandezze più di dettaglio come raggi di raccordo o gole di scarico.

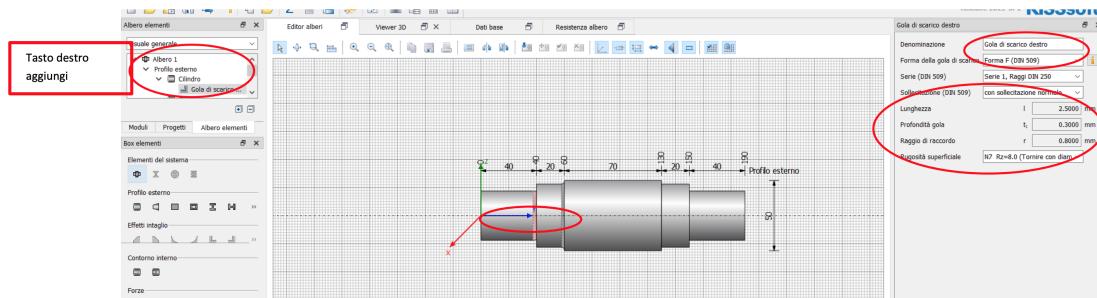


Figura 77: Disegno di massima dell'albero

In corrispondenza di zone di interesse come ad esempio spallamenti, gole di scarico ed intagli sono state aggiunte sezioni attraverso le quali è stato possibile eseguire l'analisi a fatica della stessa.

Per eseguire l'analisi a fatica di un albero risulta necessario fornire al software il carico associato attraverso la definizione di cuscinetti, input di coppia ed output di coppia.

L'input di coppia corrisponde ad un ingranaggio calettato sull'albero, compreso del proprio ciclo di carico definito durante la sua progettazione (Fig.78).

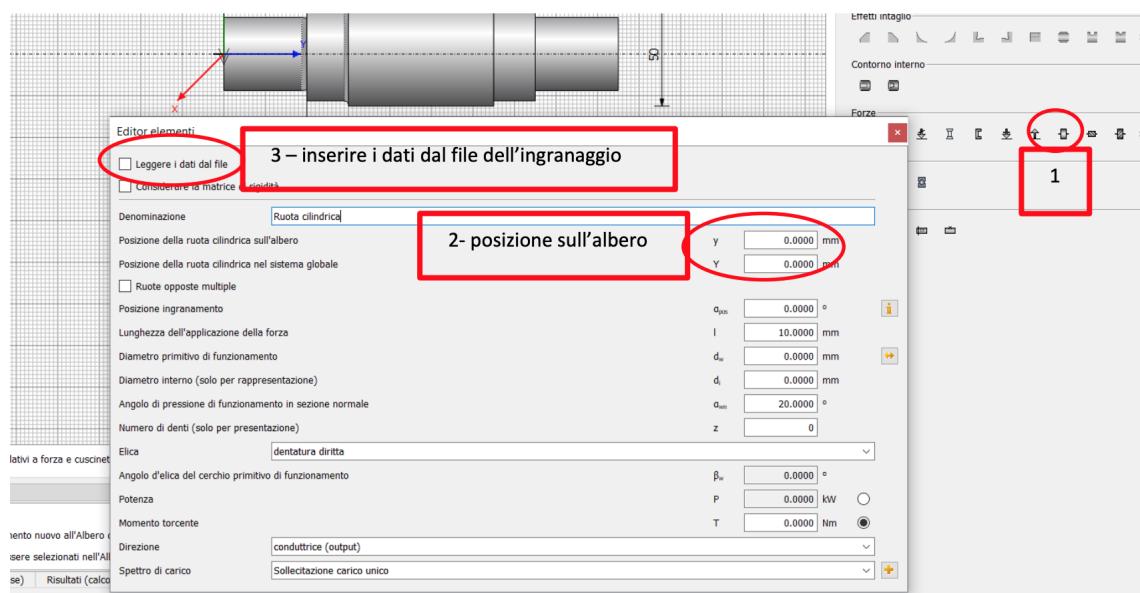


Figura 78: Inserimento dell'input di coppia sull'albero

La coppia che entra lungo l'albero deve anche uscire attraverso un altro ingranaggio oppure attraverso un elemento chiamato accoppiamento motore.

Definiti questi parametri, sarà necessario esplicitare i vincoli dell'albero attraverso la scelta e il bloccaggio dei cuscinetti.

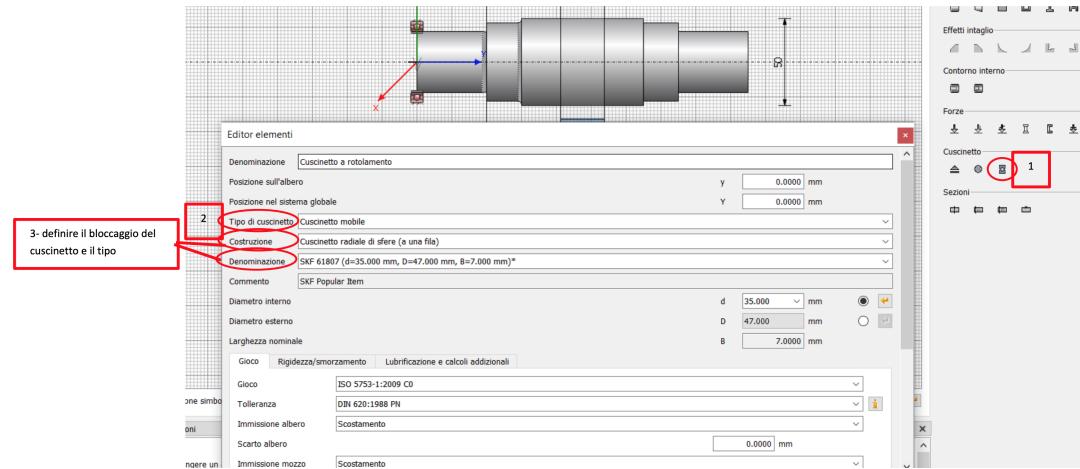


Figura 79: Scelta dei cuscinetti dell'albero

Terminato questo processo è sufficiente inserire il materiale di cui è costituito l'albero, considerare gli ingranaggi come massa e rigidezza e inserire il verso di rotazione trovato utilizzando la regola della mano destra, per eseguire l'analisi dell'elemento in questione.

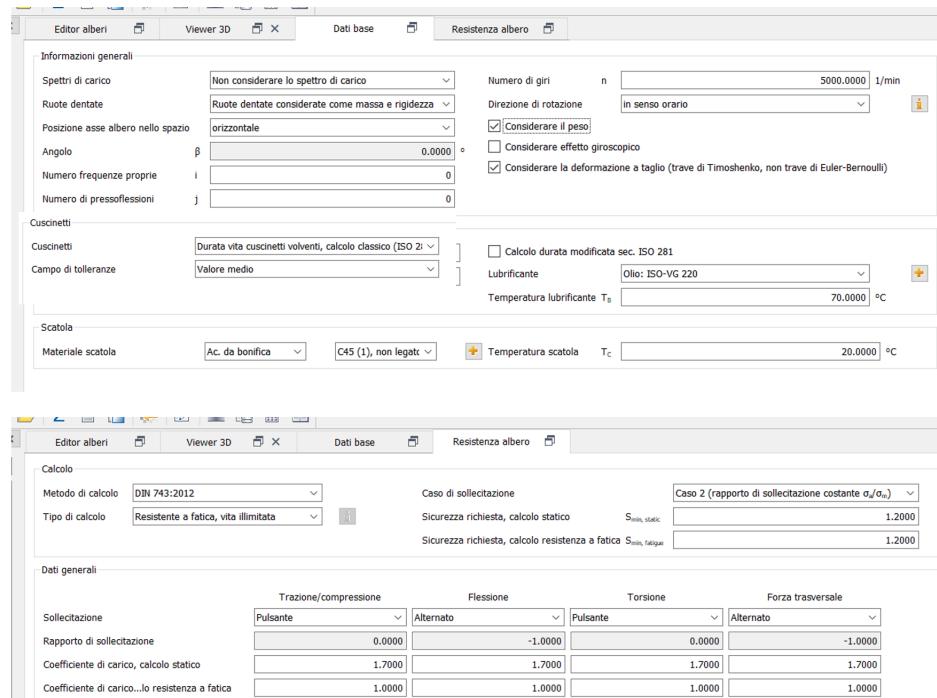


Figura 80: Inserimento di ultimi dettagli di interesse per l'analisi degli alberi mediante KissSoft

Questo processo è stato ripetuto per ogni albero del riduttore in esame.

**Albero 1** L'albero 1 è l'albero in input al riduttore.

| Denominazione | Y [mm] | Temperatura di eser | Numero di giri [1/mi] | Numero di giri      | Senso di rotazione  | Materiale     |
|---------------|--------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------|
| Albero INPUT  | 0.0000 | 20.0000             | 312.0000              | Dati base / Calcolo | in senso antiorario | 42 CrMo 4 (1) |

Figura 81: Albero 1

Sono state individuate sei sezioni di interesse:

- Due sezioni per le gole di scarico (cuscinetto sinistra e destra);
- Tre sezioni per gli spallamenti;
- Una sezione per la sede dell'anello Seeger.

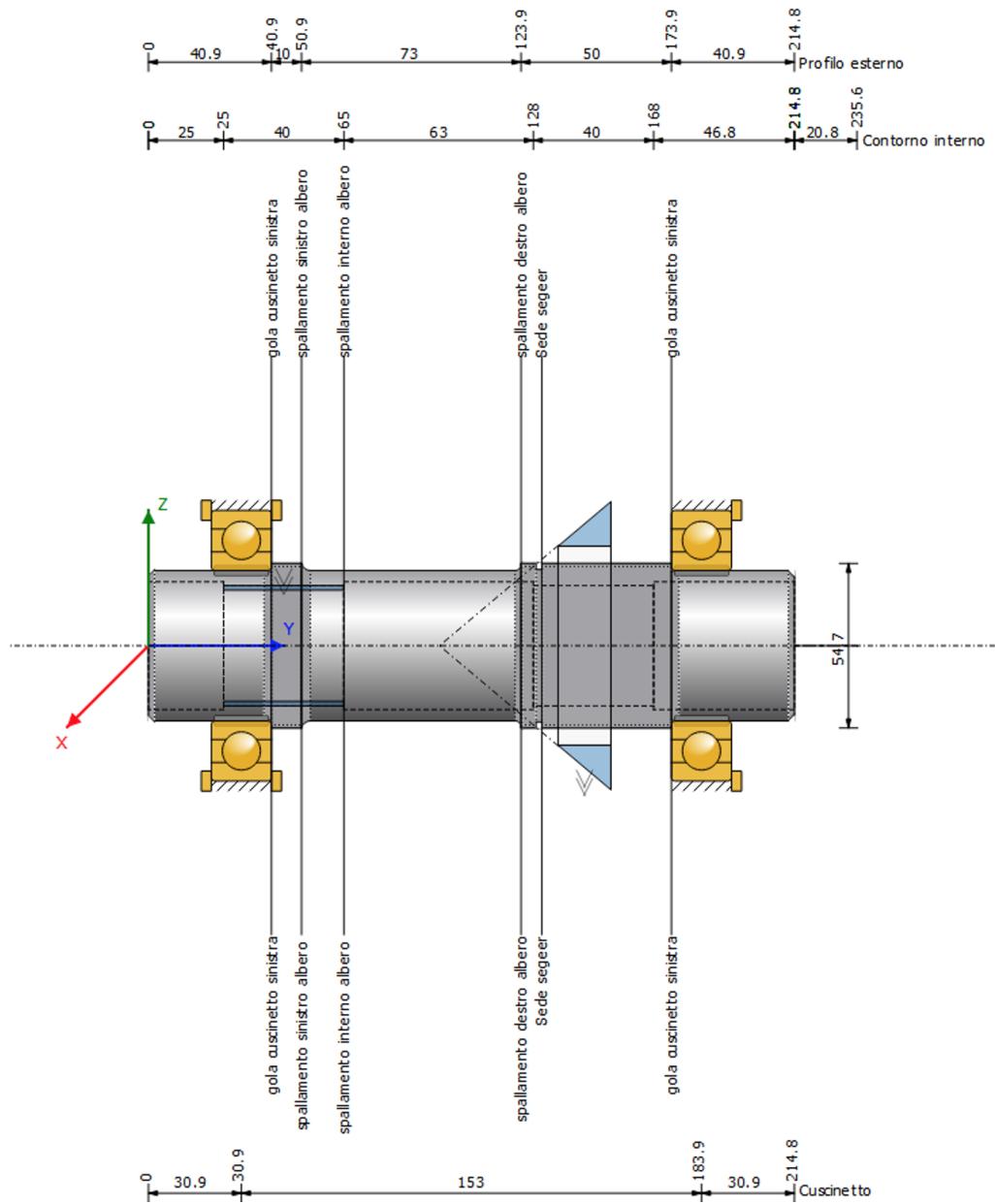


Figura 82: Layout Albero 1

Il cuscinetto sinistro inserito possiede le seguenti caratteristiche

|  |  |
|--|--|
| Denominazione  | Cuscinetto sinistra (a sfere)  |
| Posizione sull'albero  |  |
| Posizione nel sistema globale                                    | <input type="text"/> Y 30.9000 mm<br><input type="text"/> Y 30.9000 mm |
| Tipo di cuscinetto   | Cuscinetto bloccato regolato su entrambi i lati <->                    |
| Costruzione  | Cuscinetto radiale di sfere (a una fila)                               |
| Denominazione  | SKF 6210 (d=50.000 mm, D=90.000 mm, B=20.000 mm)*                      |
| Commento   | SKF Explorer - SKF Popular Item  |
| Diametro interno   | <input type="text"/> d 50.000 mm                                       |
| Diametro esterno   | <input type="text"/> D 90.000 mm                                       |
| Larghezza nominale   | <input type="text"/> B 20.0000 mm                                      |
| Gioco Rigidezza/smorzamento Lubrificazione e calcoli addizionali |  |
| Gioco  | ISO 5753-1:2009 C0   |
| Tolleranza   | non viene considerato  |
| Spostamento dell'anello esterno in direzione X                   | <input type="text"/> $\delta_x$ 0.0000 mm                              |
| Spostamento dell'anello esterno in direzione Y                   | <input type="text"/> $\delta_y$ 0.0000 mm                              |
| Forza di precarico in direzione Y                                | <input type="text"/> $F_y$ 0.0000 N                                    |
| Spostamento dell'anello esterno in direzione Z                   | <input type="text"/> $\delta_z$ 0.0000 mm                              |
| Inclinazione dell'anello esterno intorno all'asse X              | <input type="text"/> $\delta_{rx}$ 0.0000 °                            |
| Inclinazione dell'anello esterno intorno all'asse Z              | <input type="text"/> $\delta_{rz}$ 0.0000 °                            |

Figura 83: Caratteristiche cuscinetto sinistro relativo all'albero 1

mentre il cuscinetto destro

|  |  |
|--|--|
| Denominazione  | Cuscinetto destra  |
| Posizione sull'albero  |  |
| Posizione nel sistema globale                                    | <input type="text"/> Y 183.9000 mm<br><input type="text"/> Y 183.9000 mm |
| Tipo di cuscinetto   | Cuscinetto bloccato regolato a destra ->                                 |
| Costruzione  | Cuscinetto radiale di sfere (a una fila)                                 |
| Denominazione  | SKF 6210 (d=50.000 mm, D=90.000 mm, B=20.000 mm)*                        |
| Commento   | SKF Explorer - SKF Popular Item  |
| Diametro interno   | <input type="text"/> d 50.000 mm   |
| Diametro esterno   | <input type="text"/> D 90.000 mm   |
| Larghezza nominale   | <input type="text"/> B 20.0000 mm  |
| Gioco Rigidezza/smorzamento Lubrificazione e calcoli addizionali |  |
| Gioco  | ISO 5753-1:2009 C0   |
| Tolleranza   | non viene considerato  |
| Spostamento dell'anello esterno in direzione X                   | <input type="text"/> $\delta_x$ 0.0000 mm                                |
| Spostamento dell'anello esterno in direzione Y                   | <input type="text"/> $\delta_y$ 0.0000 mm                                |
| Forza di precarico in direzione Y                                | <input type="text"/> $F_y$ 0.0000 N                                      |
| Spostamento dell'anello esterno in direzione Z                   | <input type="text"/> $\delta_z$ 0.0000 mm                                |
| Inclinazione dell'anello esterno intorno all'asse X              | <input type="text"/> $\delta_{rx}$ 0.0000 °                              |
| Inclinazione dell'anello esterno intorno all'asse Z              | <input type="text"/> $\delta_{rz}$ 0.0000 °                              |

Figura 84: Caratteristiche cuscinetto destro relativo all'albero 1

La ruota conica montata sull'albero corrisponde alla ruota 0 precedentemente dimensionata, ed è la ruota da cui esce la coppia. Le caratteristiche di questa ruota sono riportate di seguito.

Figura 85: Dati della ruota 0 calettata sull'albero 1

È stato necessario considerare il momento torcente in ingresso dato dall'accoppiamento motore secondo i seguenti parametri.

Figura 86: Momento torcente in ingresso all'albero 1

Sono state poi considerate le grandezze di dettaglio:

| Editor alberi                             |   | Dati base   | Resistenza albero  |          |                   |
|---|---|---|--|----------|-------------------|
| <b>Informazioni generali</b>              |   |   |  |          |                   |
| Spettri di carico                         | Non considerare lo spettro di carico                                | Numero di giri n  | 312.0000 1/min   |          |                   |
| Ruote dentate                             | Ruote dentate considerate come massa e rigidezza                    | Direzione di rotazione  | in senso antiorario  |          |                   |
| Posizione asse albero nello spazio        | Indicare la forza del peso come vettore                             | <input checked="" type="checkbox"/> Considerare il peso         | <input type="checkbox"/>   |          |                   |
| Vettore                                   | x, y, z<br>0.0000 0.0000 -1.0000                                    | <input type="checkbox"/> Considerare effetto giroscopico        | <input checked="" type="checkbox"/> Considerare la deformazione a taglio (trave di Timoshenko, non trave di Euler-Bernoulli) |          |                   |
| Numero frequenze proprie                  | i 0   |   |  |          |                   |
| Numero di pressoflessioni                 | j 0   |   |  |          |                   |
| <b>Cuscinetti</b>                         |   |   |  |          |                   |
| Cuscinetti                                | Durata vita cuscinetti volventi in funzione della geometria interna | <input type="checkbox"/> Calcolo durata modificata sec. ISO 281 |  |          |                   |
| Campo di tolleranze                       | Valore medio  | Lubrificante  | Immissione propria   |          |                   |
| Temperatura lubrificante $T_b$ 70.0000 °C |   |   |  |          |                   |
| <b>Scatola</b>                            |   |   |  |          |                   |
| Materiale scatola                         | Ac. da bonifica   | C45 (1), non legato, boni                                       | Temperatura scatola $T_c$ 20.0000 °C   |          |                   |
| Editor alberi                             |   | Dati base   | Resistenza albero  |          |                   |
| <b>Calcolo</b>                            |   |   |  |          |                   |
| Metodo di calcolo                         | DIN 743:2012  | Caso di sollecitazione  | Caso 2 (rapporto di sollecitazione costante $\sigma_a/\sigma_m$ )  |          |                   |
| Tipo di calcolo                           | Resistente a fatica, vita illimitata                                | Sicurezza richiesta, calcolo statico                            | $S_{min, static}$ 1.2000   |          |                   |
|   |   | Sicurezza richiesta, calcolo resistenza a fatica                | $S_{min, fatigue}$ 1.2000  |          |                   |
| <b>Dati generali</b>                      |   |   |  |          |                   |
| Sollecitazione                            |   | Trazione/compressione   | Flessione  | Torsione | Forza trasversale |
| Pulsante                                  | Alternato   | Pulsante  | Alternato  |          |                   |
| 0.0000                                    | -1.0000   | 0.0000  | -1.0000  |          |                   |
| 1.7000                                    | 1.7000  | 1.7000  | 1.7000   |          |                   |
| 1.0000                                    | 1.0000  | 1.0000  | 1.0000   |          |                   |

Figura 87: Grandezze di dettaglio relative all'analisi dell'albero 1

Dal Report fornito dal software è possibile ottenere ulteriori informazioni di interesse sull'albero appena progettato.

#### *Applicazione del carico*

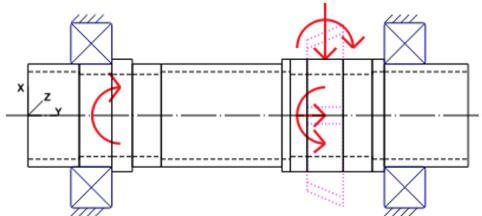


Figura 88: Applicazione del carico lungo l'albero 1

## Forze agenti sulle ruote

| 3.3.1 Ruota conica (Ruota conica 0)              |                             | 3.3.2 Accoppiamento (motore)                 |                         |
|--|-----------------------------|--|-------------------------|
| Posizione sull'albero (mm)                       | [y <sub>ruota</sub> ]       | Posizione sull'albero (mm)                   | [y <sub>ruota</sub> ]   |
| Posizione nel sistema globale (mm)               | [y <sub>global</sub> ]      | Posizione nel sistema globale (mm)           | [y <sub>global</sub> ]  |
| Diametro primitivo di funzionamento (mm)         | 145.0000                    | Diametro effettivo (mm)                      | 45.0000                 |
| Dentatura dritta                                 | 81.0000                     | Fattore forza radiale (-)                    | 37.0000                 |
| Angolo del cono primitivo di riferimento (*)     | 40.1560                     | Direzione della forza radiale (*)            | 0.0000                  |
| Angolo di pressione normale in funzionamento (*) | 20.0000                     | Fattore forza assiale (-)                    | 0.0000                  |
| Posizione ingranaggio (*)                        | 0.0000                      | Lunghezza dell'applicazione della forza (mm) | 0.0000                  |
| Larghezza dente (mm)                             | 23.0000                     | Potenza (kW)                                 | 40.0000                 |
| Potenza (kW)                                     | 8.0000 conduttrice (output) | Momento torcente (Nm)                        | 8.0000 condotta (input) |
| Momento torcente (Nm)                            | 244.8538                    | Forza assiale (N)                            | -244.8538               |
| Forza assiale (N)                                | 1419.0262                   | Forza trasversale X (N)                      | 0.0000                  |
| Forza trasversale X (N)                          | -1681.8089                  | Forza trasversale Z (N)                      | 0.0000                  |
| Forza trasversale Z (N)                          | -6045.7718                  | Momento flettente X (Nm)                     | 0.0000                  |
| Momento flettente X (Nm)                         | -0.0000                     | Momento flettente Z (Nm)                     | 0.0000                  |
| Momento flettente Z (Nm)                         | 57.4706                     |  |                         |

Figura 89: Valore delle forze trasmesse sull'albero 1

## Dettagli cuscinetti

| 3.4.1 Cuscinetto sinistra (a sfere) (SKF 6210)                  |                               | 3.4.2 Cuscinetto destra (SKF 6210)       |   |
|---|-------------------------------|--|---|
| Forma strutturale cuscinetto                                    |                               | Cuscinetto radiale di sfere (a una fila) | Forma strutturale cuscinetto                                    |
| Posizione cuscinetto (mm)                                       | [y <sub>ruota</sub> ]         | SKF Explorer                             | SKF Explorer  |
| Posizione cuscinetto (mm)                                       | [y <sub>global</sub> ]        | 30.900                                   | 183.900   |
| Fissaggio anello esterno  |                               | Cuscinetto fisso                         | 183.900   |
| Diametro interno (mm)   | [d]                           | 50.000                                   | Fissaggio anello esterno  |
| Diametro esterno (mm)   | [D]                           | 90.000                                   | Diametro interno (mm)   |
| Larghezza (mm)  | [b]                           | 20.000                                   | Diametro esterno (mm)   |
| Raggio d'angolo (mm)  | [r]                           | 1.100                                    | Larghezza (mm)  |
| Numero di corpi volventi  | [Z]                           | 10                                       | Raggio d'angolo (mm)  |
| Cerchio primitivo corpi volventi (mm)                           | [D <sub>pr</sub> ]            | 70.000                                   | [r]   |
| Diametro corpi volventi (mm)                                    | [D <sub>v</sub> ]             | 12.700                                   | 1.100   |
| Diametro pista esterna (mm)                                     | [d <sub>e</sub> ]             | 82.707                                   | Numero di corpi volventi [Z]                                    |
| Diametro pista interna (mm)                                     | [d <sub>i</sub> ]             | 57.293                                   | Cerchio primitivo corpi volventi (mm)                           |
| Raggi di curvatura pista esterna (mm)                           | [r <sub>e</sub> ]             | 6.731                                    | [D <sub>pr</sub> ]  |
| Raggi di curvatura pista interna (mm)                           | [r <sub>i</sub> ]             | 6.604                                    | 70.000  |
| Calcolo con geometria interna del cuscinetto approssimativa (*) |                               |  | Diametro corpi volventi (mm)                                    |
| Gioco cuscinetti  | ISO 5753-1:2009 C0 (14.50 µm) |  | 12.700  |
| Gioco assiale   | P <sub>e</sub> = 191.36 µm    |  | Diametro pista esterna (mm)                                     |
| Fattore di carico statico (kN)                                  | [C <sub>s</sub> ]             | 23.200                                   | 82.707  |
| Fattore di carico dinamico (kN)                                 | [C]                           | 37.100                                   | Diametro pista interna (mm)                                     |
| Fattore di carico fatica (kN)                                   | [C <sub>f</sub> ]             | 0.980                                    | 57.293  |
| Valori per la geometria approssimata:                           |                               |  | Raggio di curvatura pista esterna (mm)                          |
| Fattore di carico dinamico (kN)                                 | [C <sub>dyn</sub> ]           | 35.074                                   | [r <sub>e</sub> ]   |
| Fattore di carico statico (kN)                                  | [C <sub>stat</sub> ]          | 23.180                                   | 6.731   |
| Fattore di correzione fattore di carico dinamico                | [f <sub>c</sub> ]             | 1.000                                    | Raggio di curvatura pista interna (mm)                          |
| Fattore di correzione fattore di carico statico                 | [f <sub>c0</sub> ]            | 1.000                                    | 6.604   |
|   |                               |  | Calcolo con geometria interna del cuscinetto approssimativa (*) |
|   |                               |  | ISO 5753-1:2009 C0 (14.50 µm)                                   |
|   |                               |  | Gioco assiale   |
|   |                               |  | P <sub>e</sub> = 191.36 µm                                      |
|   |                               |  | Fattore di carico statico (kN)                                  |
|   |                               |  | [C <sub>s</sub> ]   |
|   |                               |  | 23.200  |
|   |                               |  | Fattore di carico dinamico (kN)                                 |
|   |                               |  | [C]   |
|   |                               |  | 37.100  |
|   |                               |  | Fattore di carico fatica (kN)                                   |
|   |                               |  | [C <sub>f</sub> ]   |
|   |                               |  | 0.980   |
|   |                               |  | Valori per la geometria approssimata:                           |
|   |                               |  | Fattore di carico dinamico (kN)                                 |
|   |                               |  | [C <sub>dyn</sub> ]   |
|   |                               |  | 35.074  |
|   |                               |  | Fattore di carico statico (kN)                                  |
|   |                               |  | [C <sub>stat</sub> ]  |
|   |                               |  | 23.180  |
|   |                               |  | Fattore di correzione fattore di carico dinamico                |
|   |                               |  | [f <sub>c</sub> ]   |
|   |                               |  | 1.000   |
|   |                               |  | Fattore di correzione fattore di carico statico                 |
|   |                               |  | [f <sub>c0</sub> ]  |
|   |                               |  | 1.000   |

Figura 90: Valore delle forze trasmesse sull'albero 1

*Deformazione dell'albero*

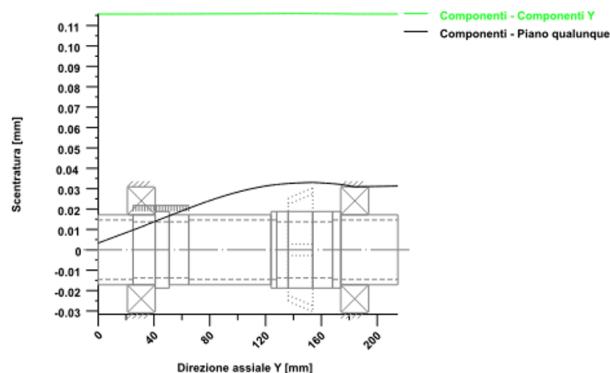
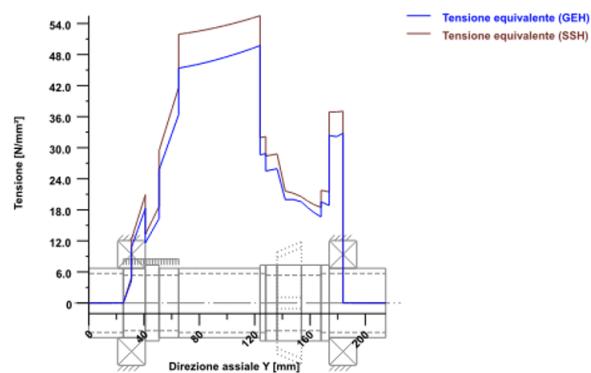


Figura 91: Deformata dell'albero 1

*Andamento della tensione equivalente*



Tensioni nominali, senza considerazione della concentrazione di tensione  
 GEH(von Mises):  $\text{sigV} = ((\text{sigB} + \text{sigZ.D})^2 + 3 * (\tau_{\text{T}} + \tau_{\text{S}})^2)^{1/2}$   
 SSH(Tresca):  $\text{sigV} = ((\text{sigB} - \text{sigZ.D})^2 + 4 * (\tau_{\text{T}} + \tau_{\text{S}})^2)^{1/2}$

Figura 92: Andamento della tensione equivalente lungo l'albero 1

Infine, attraverso la compilazione del software si è osservato come tutte le sezioni fossero ampiamente verificate sia staticamente che a fatica.

|   |       |            |                         |                        |
|---|-------|------------|-------------------------|------------------------|
| <b>Risultati</b>                                |       |            |                         |                        |
| inflessione massima                             |       |            | 33.05 $\mu$ m           |                        |
| tensione equivalente massima                    |       |            | 49.72 N/mm <sup>2</sup> |                        |
| durata minima di vita del cuscinetto            |       |            | 21073.92 h              |                        |
| sicurezza statica minima del cuscinetto         |       |            | 4.59                    |                        |
| sicurezza minimale alla fatica                  |       |            | 5.70                    |                        |
| sicurezza statica minima                        |       |            | 10.54                   |                        |
| <b>Sicurezze</b>                                |       |            |                         |                        |
| Fatica  |       | statico    |                         |                        |
| gola cuscinetto sinistra                        | 26.12 | 33.73      | 2176.27                 | statico                |
| spallamento sinistro albero                     | 19.69 | 22.24      | 1640.47                 | 2811.02                |
| spallamento interno albero                      | 15.47 | 14.39      | 1288.96                 | 1853.72                |
| spallamento destro albero                       | 6.53  | 10.54      | 544.02                  | 1199.25                |
| gola cuscinetto sinistra                        | 37.95 | 435.90     | 3162.84                 | 878.63                 |
| Sede seeger                                     | 5.70  | 14.17      | 474.67                  | 36325.24               |
| Calcolo in base a ISO 76, ISO 281, ISO/TS 16281 |       |            |                         | 1180.49                |
| <b>Risultati</b>                                |       |            |                         |                        |
| Cuscinetto sinistra (a sfere)                   |       | S0         | L10h                    |                        |
| Cuscinetto destra                               |       | 17.80      | > 1000000 h             | pmax_i                 |
|   |       | 4.59       | 21173 h                 | 1491 N/mm <sup>2</sup> |
|   |       |            |                         | 2421 N/mm <sup>2</sup> |
| <b>Forza di reazione del cuscinetto</b>         |       | Componenti | X                       | Rxz                    |
| Cuscinetto sinistra (a sfere)                   | F     |            | -0.297 kN               | 1.303 kN               |
|   | M     |            | -7.667 Nm               | 7.669 Nm               |
| Cuscinetto destra                               | F     |            | 1.695 kN                | 4.758 kN               |
|   | M     |            | -29.093 Nm              | 5.051 kN               |
|   |       |            |                         | 30.790 Nm              |
|   |       |            |                         |                        |

Figura 93: Risultato dell'analisi statica e a fatica delle sezioni di interesse dell'albero 1

**Albero 2** Sono state individuate tre sezioni di interesse:

- Una sezione sulla sede del cuscinetto a sinistra;
- Due sezioni per inizio e fine del profilo scanalato;

| Denominazione | Y [mm] | Temperatura di eser | Numero di giri [1/mi] | Numero di giri      | Senso di rotazione  | Materiale     |
|---------------|--------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------|
| albero 2      | 0.0000 | 20.0000             | 263.2500              | Dati base / Calcolo | in senso antiorario | 42 CrMo 4 (1) |

Figura 94: Albero 2

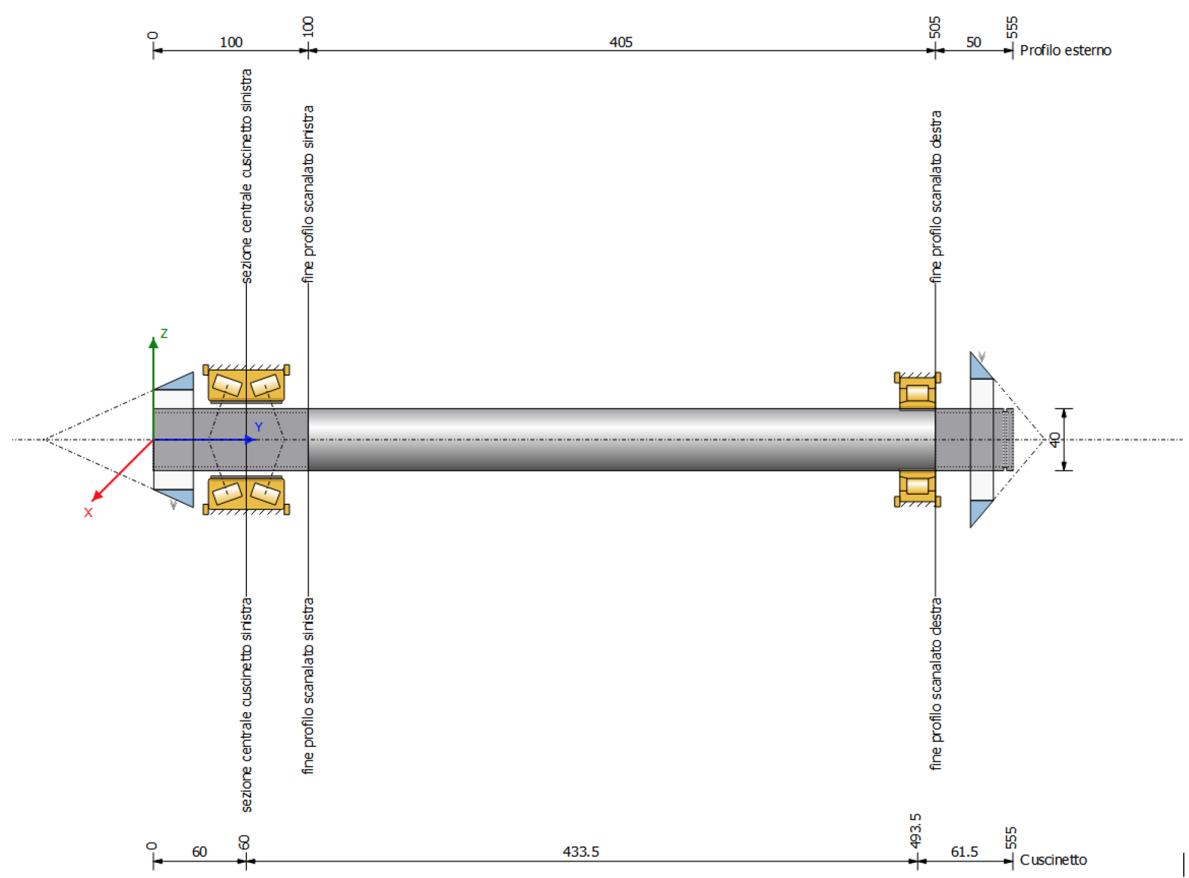


Figura 95: Layout Albero 2

Il cuscinetto sinistro inserito possiede le seguenti caratteristiche

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| Denominazione                 | Cuscinetto sinistra  |
| Posizione sull'albero         |  |
| Posizione nel sistema globale |  |
| Tipo di cuscinetto            | Cuscinetto bloccato regolato su entrambi i lati <->          |
| Costruzione                   | Cuscinetto a rulli conici (accoppiati) (O,TDO)               |
| Denominazione                 | Koyo 46T30210JR/39.5 (d=50.000 mm, D=90.000 mm, B=49.000 mm) |
| Commento                      |  |
| Diametro interno              | d 50.000 mm  |
| Diametro esterno              | D 90.000 mm  |
| Larghezza nominale            | B 49.0000 mm   |
| Gioco                         | Rigidezza/smorzamento Lubrificazione e calcoli addizionali   |
|                               | Spostamento dell'anello esterno in direzione X               |
|                               | Spostamento dell'anello esterno in direzione Y               |
|                               | Spostamento dell'anello esterno in direzione Z               |

Figura 96: Caratteristiche cuscinetto sinistro relativo all'albero 2

mentre il cuscinetto destro

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| Denominazione                 | Cuscinetto destra   |
| Posizione sull'albero         |   |
| Posizione nel sistema globale |   |
| Tipo di cuscinetto            | Cuscinetto bloccato regolato su entrambi i lati <->         |
| Costruzione                   | Cuscinetto radiale di rulli cilindrici (ad una fila, pieni) |
| Denominazione                 | INA SL182208-XL (d=40.000 mm, D=80.000 mm, B=23.000 mm)     |
| Commento                      | X-life  |
| Diametro interno              | d 40.000 mm   |
| Diametro esterno              | D 80.000 mm   |
| Larghezza nominale            | B 23.0000 mm  |
| Gioco                         | Rigidezza/smorzamento Lubrificazione e calcoli addizionali  |
|                               | Gioco DIN 620:1988 C0                                       |
|                               | Spostamento dell'anello esterno in direzione X              |
|                               | Spostamento dell'anello esterno in direzione Y              |
|                               | Spostamento dell'anello esterno in direzione Z              |

Figura 97: Caratteristiche cuscinetto destro relativo all'albero 2

La prima ruota conica calettata sull'albero 2 corrisponde alla ruota 1, ed è la ruota da cui entra la coppia. Le caratteristiche di questa ruota sono riportate di seguito.

| Parametro   | Valore                    |
|---|---------------------------|
| Posizione della ruota dentata sull'albero               | Y: 535.0000 mm            |
| Posizione della ruota dentata nel sistema globale       | Y: 535.0000 mm            |
| Ruote conigue multiple                                  | <input type="checkbox"/>  |
| Posizione ingranamento                                  | <input type="checkbox"/>  |
| Larghezza dente   | <input type="checkbox"/>  |
| Diametro del cono primitivo (medio)                     | <input type="checkbox"/>  |
| Diametro interno  | <input type="checkbox"/>  |
| Tipo di ingranaggio                                     | Ruota conica              |
| Orientamento  | Punta verso destra        |
| Angolo di pressione di funzionamento in sezione normale | $\alpha_{en}$ : 20.0000 ° |
| Numero di denti (solo per presentazione)                | Z: 32                     |
| Elica   | <input type="checkbox"/>  |
| Angolo d'elica (medio)                                  | $\beta_m$ : 0.0000 °      |
| Angolo del cono primitivo di riferimento                | $\delta$ : 49.8440 °      |
| Potenza   | P: 8.0000 kW              |
| Momento torcente  | T: 290.1970 Nm            |
| Direzione   | condotta (input)          |
| Spettro di carico                                       | Immissione propria        |

Figura 98: Dati della ruota 1 calettata sull'albero 2

L'elemento di output corrisponde alla ruota conica 3.

| Parametro   | Valore                    |
|---|---------------------------|
| Posizione della ruota dentata sull'albero               | Y: 13.0000 mm             |
| Posizione della ruota dentata nel sistema globale       | Y: 13.0000 mm             |
| Ruote conigue multiple                                  | <input type="checkbox"/>  |
| Posizione ingranamento                                  | <input type="checkbox"/>  |
| Larghezza dente   | <input type="checkbox"/>  |
| Diametro del cono primitivo (medio)                     | <input type="checkbox"/>  |
| Diametro interno  | <input type="checkbox"/>  |
| Tipo di ingranaggio                                     | Ruota conica              |
| Orientamento  | Punta verso sinistra      |
| Angolo di pressione di funzionamento in sezione normale | $\alpha_{en}$ : 20.0000 ° |
| Numero di denti (solo per presentazione)                | Z: 19                     |
| Elica   | <input type="checkbox"/>  |
| Angolo d'elica (medio)                                  | $\beta_m$ : 0.0000 °      |
| Angolo del cono primitivo di riferimento                | $\delta$ : 24.3411 °      |
| Potenza   | P: 8.0000 kW              |
| Momento torcente  | T: 290.1970 Nm            |
| Direzione   | conduttrice (output)      |
| Spettro di carico                                       | Immissione propria        |

Figura 99: Dati della ruota 3 calettata sull'albero2

Sono state poi considerate le grandezze di dettaglio:

The screenshot shows a software interface for shaft analysis, likely a part of a larger mechanical design tool. It includes several tabs at the top: 'Editor alberi' (selected), 'Dati base' (base data), and 'Resistenza albero' (shaft resistance). The main area is divided into sections:

- Informazioni generali (General information):**
  - Spettri di carico (Load spectra): Non considerare lo spettro di carico (Do not consider the load spectrum).
  - Ruote dentate (Gears): Ruote dentate considerate come massa e rigidezza (Gears considered as mass and stiffness).
  - Posizione asse albero nello spazio (Shaft axis position in space): orizzontale (horizontal).
  - Angolo (Angle):  $\beta = 0.0000$ .
  - Numeri frequenze proprie (Natural frequencies): i = 0, j = 0.
  - Numero di pressoflessioni (Number of pre-compression): 0.
  - Numero di giri (Number of revolutions): n = 263.2500 1/min.
  - Direzione di rotazione (Direction of rotation): in senso antiorario (counter-clockwise).
  - Checkboxes: Considerare il peso (Check), Considerare effetto giroscopico (Check), Considerare la deformazione a taglio (Check).
- Cuscinetti (Bearings):**
  - Cuscinetti (Bearings): Durata vita cuscinetti volventi, calcolo classico (ISO 281 e dati fabbr) (Service life of rolling-element bearings, classic calculation (ISO 281 and manufacturer data)).
  - Campo di tolleranze (Tolerance range): Valore medio (Mean value).
  - Calcolo durata modificata sec. ISO 281 (Modified service life according to ISO 281).
  - Lubrificante (Lubricant): Immissione propria (Own).
  - Temperatura lubrificante  $T_b$  (Lubricant temperature): 70.0000 °C.
- Scatola (Box):**
  - Materiale scatola (Box material): Ac. da bonifica (Ac. from recycling).
  - C45 (1), non legato, bonifi (C45 (1), not bonded, recycled).
  - Temperatura scatola  $T_c$  (Box temperature): 20.0000 °C.
- Calcolo (Calculation):**
  - Metodo di calcolo (Calculation method): DIN 743:2012.
  - Caso di sollecitazione (Load case): Caso 2 (rapporto di sollecitazione costante  $\sigma_a/\sigma_m$ ) (Case 2 (constant load ratio  $\sigma_a/\sigma_m$ )).
  - Tipo di calcolo (Calculation type): Resistente a fatica, vita illimitata (Fatigue-resistant, infinite life).
  - Sicurezza richiesta, calcolo statico (Required safety, static calculation):  $S_{min, static} = 1.2000$ .
  - Sicurezza richiesta, calcolo resistenza a fatica (Required safety, fatigue resistance calculation):  $S_{min, fatigue} = 1.2000$ .
- Dati generali (General data):**

|  | Trazione/compressione (Tension/compression) | Flessione (Bending)     | Torsione (Torsion)                         | Forza trasversale (Transverse force) |
|--|---|-------------------------|--|--------------------------------------|
| Sollecitazione (Load):   | Pulsante (Pulse) / Alternato (Alternating)  | Alternato (Alternating) | Pulsante (Pulse) / Alternato (Alternating) | Alternato (Alternating)              |
| Rapporto di sollecitazione (Load ratio):   | 0.0000                                      | -1.0000                 | 0.0000                                     | -1.0000                              |
| Coefficiente di carico, calcolo statico (Load factor, static calculation):                         | 1.7000                                      | 1.7000                  | 1.7000                                     | 1.7000                               |
| Coefficiente di carico, calcolo resistenza a fatica (Load factor, fatigue resistance calculation): | 1.0000                                      | 1.0000                  | 1.0000                                     | 1.0000                               |

Figura 100: Grandezze di dettaglio relative all'analisi dell'albero 2

Dal Report fornito dal software è possibile ottenere ulteriori informazioni di interesse sull'albero appena progettato.

#### Applicazione del carico

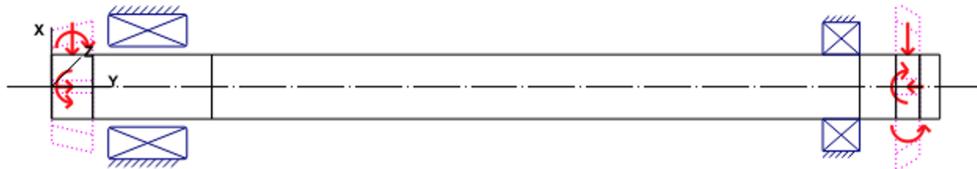


Figura 101: Applicazione del carico lungo l'albero 2

## Forze agenti sulle ruote

| 3.2.2 Ruota conica (Ruota conica 3)              |                        | 3.2.1 Ruota conica (Ruota conica 1) |  |                        |                            |
|--|------------------------|-------------------------------------|--|------------------------|----------------------------|
| Posizione sull'albero (mm)                       | [y <sub>local</sub> ]  | 13.0000                             | Posizione sull'albero (mm)                       | [y <sub>local</sub> ]  | 535.0000                   |
| Posizione nel sistema globale (mm)               | [y <sub>global</sub> ] | 13.0000                             | Posizione nel sistema globale (mm)               | [y <sub>global</sub> ] | 535.0000                   |
| Diametro primitivo di funzionamento (mm)         |                        | 76.0000                             | Diametro primitivo di funzionamento (mm)         |                        | 96.0000                    |
| Dentatura dritta                                 |                        |                                     | Dentatura dritta                                 |                        |                            |
| Angolo del cono primitivo di riferimento (°)     |                        | 24.3411                             | Punta verso sinistra                             |                        |                            |
| Angolo di pressione normale in funzionamento (°) |                        | 20.0000                             | Angolo del cono primitivo di riferimento (°)     |                        | 49.8440 Punta verso destra |
| Posizione ingranamento (°)                       |                        | 0.0000                              | Angolo di pressione normale in funzionamento (°) |                        | 20.0000                    |
| Larghezza dente (mm)                             |                        | 28.0000                             | Posizione ingranamento (°)                       |                        | 0.0000                     |
| Potenza (kW)                                     |                        | 8.0000                              | Larghezza dente (mm)                             |                        | 23.0000                    |
| Momento torcente (Nm)                            |                        | 290.1970                            | Potenza (kW)                                     |                        | 6.0000 condotta (input)    |
| Forza assiale (N)                                |                        | 1145.6432                           | Momento torcente (Nm)                            |                        | -290.1970                  |
| Forza trasversale X (N)                          |                        | -2532.4745                          | Forza assiale (N)                                |                        | -1681.8089                 |
| Forza trasversale Z (N)                          |                        | -7636.7644                          | Forza trasversale X (N)                          |                        | -1419.0262                 |
| Momento flettente X (Nm)                         |                        | -0.0000                             | Forza trasversale Z (N)                          |                        | 6045.7718                  |
| Momento flettente Z (Nm)                         |                        | 43.5344                             | Momento flettente X (Nm)                         |                        | 0.0000                     |
|  |                        |                                     | Momento flettente Z (Nm)                         |                        | -80.7268                   |

Figura 102: Valore delle forze trasmesse sull'albero 2

## Dettagli cuscinetti

| 3.3.1 Cuscinetto sinistro                        |                        | (Koyo 46T30210JR/39.5)                          | 3.3.2 Cuscinetto destro (INA SL182208-XL)        |  |         |
|--|------------------------|---|--|--|---------|
| Forma strutturale cuscinetto                     |                        | Cuscinetto a nulli conici (accoppiati) (O, TDO) | Forma strutturale cuscinetto                     | Cuscinetto radiale di nulli cilindrici (ad una fila, pieni) X-life |         |
| Posizione cuscinetto (mm)                        | [y <sub>local</sub> ]  | 60.000  | Posizione cuscinetto (mm)                        | [y <sub>local</sub> ]  | 493.500 |
| Posizione cuscinetto (mm)                        | [y <sub>global</sub> ] | 60.000  | Posizione cuscinetto (mm)                        | [y <sub>global</sub> ]   | 493.500 |
| Fissaggio anello esterno                         |                        | Cuscinetto fisso                                | Fissaggio anello esterno                         | Cuscinetto fisso   |         |
| Diametro interno (mm)                            | [d]                    | 50.000  | Diametro interno (mm)                            | [d]  | 40.000  |
| Diametro esterno (mm)                            | [D]                    | 90.000  | Diametro esterno (mm)                            | [D]  | 80.000  |
| Larghezza (mm)                                   | [b]                    | 49.000  | Larghezza (mm)                                   | [b]  | 23.000  |
| Raggio d'angolo (mm)                             | [r]                    | 1.500   | Raggio d'angolo (mm)                             | [r]  | 0.000   |
| Fattore di carico statico (kN)                   | [C <sub>0</sub> ]      | 183.000   | Fattore di carico statico (kN)                   | [C <sub>0</sub> ]  | 91.000  |
| Fattore di carico dinamico (kN)                  | [C]                    | 164.000   | Fattore di carico dinamico (kN)                  | [C]  | 97.000  |
| Fattore di carico fatica (kN)                    | [C <sub>f</sub> ]      | 13.800  | Fattore di carico fatica (kN)                    | [C <sub>f</sub> ]  | 15.200  |
| Valori per la geometria approssimata             |                        |   | Valori per la geometria approssimata:            |  |         |
| Fattore di carico dinamico (kN)                  | [C <sub>red</sub> ]    | 0.000   | Fattore di carico dinamico (kN)                  | [C <sub>red</sub> ]  | 0.000   |
| Fattore di carico statico (kN)                   | [C <sub>red0</sub> ]   | 0.000   | Fattore di carico statico (kN)                   | [C <sub>red0</sub> ]   | 0.000   |
| Fattore di correzione fattore di carico dinamico | [f <sub>c</sub> ]      | 1.000   | Fattore di correzione fattore di carico dinamico | [f <sub>c</sub> ]  | 1.000   |
| Fattore di correzione fattore di carico statico  | [f <sub>0</sub> ]      | 1.000   | Fattore di correzione fattore di carico statico  | [f <sub>0</sub> ]  | 1.000   |

Figura 103: Valore delle forze trasmesse sull'albero 2

## Deformazione dell'albero

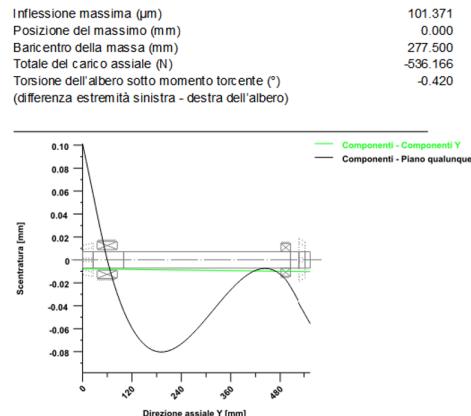
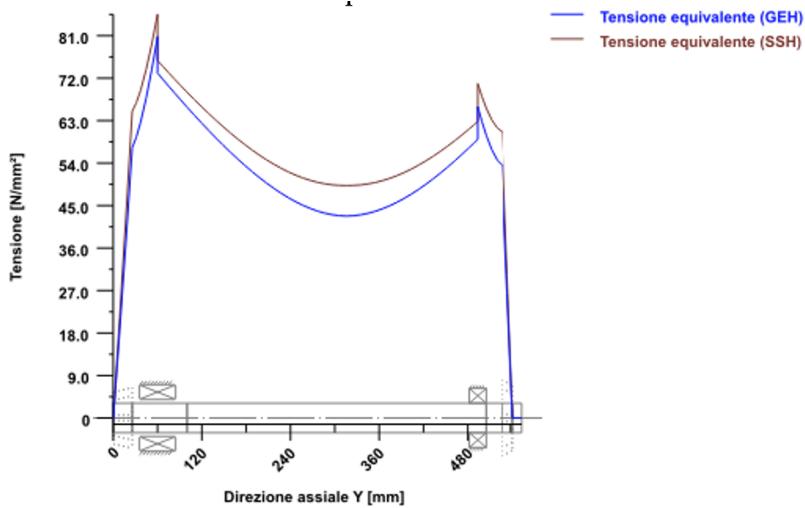


Figura 104: Deformata dell'albero 2

### Andamento della tensione equivalente



Tensioni nominali, senza considerazione della concentrazione di tensione

$$\text{GEH(von Mises): } \sigma_{\text{V}} = ((\sigma_B + \sigma_Z, D)^2 + 3(\tau_T + \tau_S)^2)^{1/2}$$

$$\text{SSH(Tresca): } \sigma_{\text{V}} = ((\sigma_B - \sigma_Z, D)^2 + 4(\tau_T + \tau_S)^2)^{1/2}$$

Figura 105: Andamento della tensione equivalente lungo l'albero 2

Infine, attraverso la compilazione del software si è osservato come tutte le sezioni fossero ampiamente verificate sia staticamente che a fatica.

|  |            |          |           |                         |
|--|------------|----------|-----------|-------------------------|
| <b>Risultati</b>                                       |            |          |           |                         |
| inflessione massima                                    |            |          |           | 101.37 $\mu$ m          |
| tensione equivalente massima                           |            |          |           | 80.80 N/mm <sup>2</sup> |
| durata minima di vita del cuscinetto                   |            |          |           | 319441.51 h             |
| sicurezza statica minima del cuscinetto                |            |          |           | 12.11                   |
| sicurezza minima alla fatica                           |            |          |           | 3.07                    |
| sicurezza statica minima                               |            |          |           | 5.15                    |
| <b>Calcolo in base a ISO 76, ISO 281, ISO/TS 16281</b> |            |          |           |                         |
| <b>Risultati</b>                                       |            |          |           |                         |
| Cuscinetto sinistra                                    |            |          |           | S0                      |
| Cuscinetto destra                                      |            |          |           | L10h                    |
| <b>Forza di reazione del cuscinetto</b>                |            |          |           |                         |
| Cuscinetto sinistra                                    | Componenti | X        | Y         | Z                       |
| F  | 2.757 kN   | 0.000 kN | 9.077 kN  | 9.486 kN                |
| M  | -0.000 Nm  | 0.000 Nm | 0.000 Nm  | 0.000 Nm                |
| Cuscinetto destra                                      |            |          |           |                         |
| F  | 1.195 kN   | 0.536 kN | -7.419 kN | 7.514 kN                |
| M  | -0.000 Nm  | 0.000 Nm | -0.000 Nm | 0.000 Nm                |

Figura 106: Risultato dell'analisi statica e a fatica delle sezioni di interesse dell'albero 2

**Albero 3** Sono state individuate quattro sezioni di interesse:

- Due sezioni per le gole di scarico (cuscinetto di destra e sinistra);
- Due sezioni in corrispondenza dei raggi di raccordo degli spallamenti;

| Denominazione | Y [mm] | Temperatura di esercizio [°C] | Numero di giri [1/mi] | Numero di giri      | Senso di rotazione | Materiale     |
|---------------|--------|-------------------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|---------------|
| Albero 3      | 0.0000 | 20.0000                       | 119.0680              | Dati base / Calcolo | in senso orario    | 42 CrMo 4 (1) |

Figura 107: Albero 3

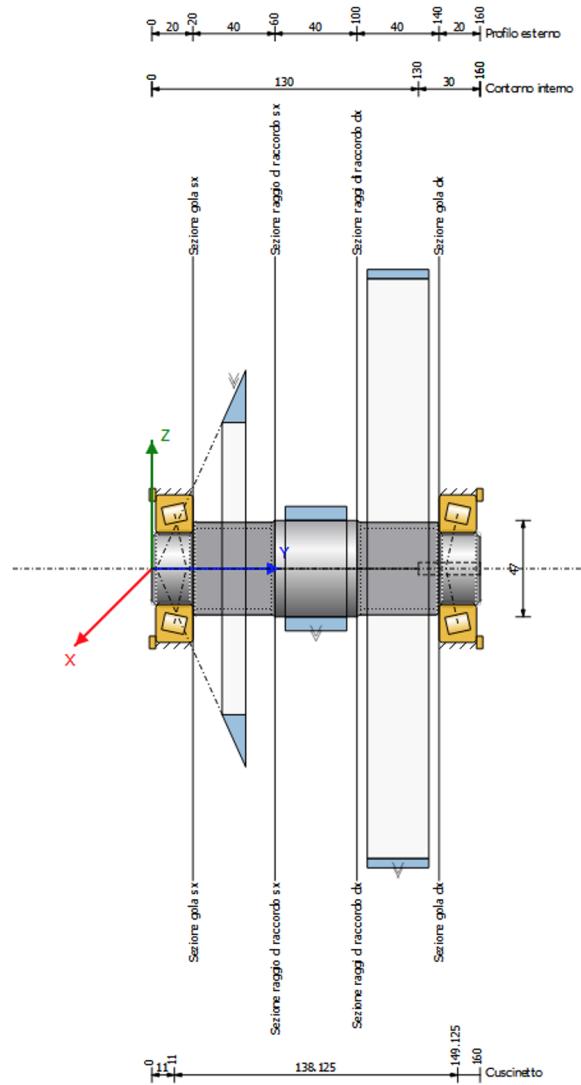


Figura 108: Layout Albero 3

Il cuscinetto sinistro inserito possiede le seguenti caratteristiche

|   |   |   |  |
|---|---|---|--|
| Denominazione                                       | Cuscinetto a rotolamento 1  |   |  |
| Posizione sull'albero                               | <input type="text"/> Y <input type="text"/> 11.0000 mm                                  |   |  |
| Posizione nel sistema globale                       | <input type="text"/> Y <input type="text"/> 11.0000 mm                                  |   |  |
| Tipo di cuscinetto                                  | Cuscinetto bloccato regolato a sinistra <-  |   |  |
| Costruzione   | Cuscinetto a rulli conici (a una fila)  |   |  |
| Denominazione                                       | SKF 30207 (d=35.000 mm, D=72.000 mm, B=18.250 mm)*                                      |   |  |
| Commento  | SKF Explorer - SKF Popular Item   |   |  |
| Diametro interno                                    | <input type="text"/> d <input type="text"/> 35.000 mm <input type="button"/>            |   |  |
| Diametro esterno                                    | <input type="text"/> D <input type="text"/> 72.000 mm <input type="button"/>            |   |  |
| Larghezza nominale                                  | <input type="text"/> B <input type="text"/> 18.2500 mm <input type="button"/>           |   |  |
| Dimensioni angolo di contatto                       | <input type="text"/> S <input type="text"/> 5.8300 mm <input type="button"/>            |   |  |
| Gioco   | <input type="radio"/>   | Rigidezza/smorzamento <input type="radio"/> | Lubrificazione e calcoli addizionali <input type="radio"/> |
| Tolleranza  | non viene considerato   |   |  |
| Spostamento dell'anello esterno in direzione X      | <input type="text"/> $\delta_x$ <input type="text"/> 0.0000 mm <input type="button"/>   |   |  |
| Spostamento dell'anello esterno in direzione Y      | <input type="text"/> $\delta_y$ <input type="text"/> 0.0000 mm <input type="button"/>   |   |  |
| Forza di precarico in direzione Y                   | <input type="text"/> $F_y$ <input type="text"/> 0.0000 N <input type="button"/>         |   |  |
| Spostamento dell'anello esterno in direzione Z      | <input type="text"/> $\delta_z$ <input type="text"/> 0.0000 mm <input type="button"/>   |   |  |
| Inclinazione dell'anello esterno intorno all'asse X | <input type="text"/> $\delta_{xz}$ <input type="text"/> 0.0000 ° <input type="button"/> |   |  |
| Inclinazione dell'anello esterno intorno all'asse Z | <input type="text"/> $\delta_{yz}$ <input type="text"/> 0.0000 ° <input type="button"/> |   |  |

Figura 109: Caratteristiche cuscinetto sinistro relativo all'albero 3

mentre il cuscinetto destro

|   |   |   |  |
|---|---|---|--|
| Denominazione                                       | Cuscinetto a rotolamento 2  |   |  |
| Posizione sull'albero                               | <input type="text"/> Y <input type="text"/> 149.1250 mm                                 |   |  |
| Posizione nel sistema globale                       | <input type="text"/> Y <input type="text"/> 149.1250 mm                                 |   |  |
| Tipo di cuscinetto                                  | Cuscinetto bloccato regolato a destra ->  |   |  |
| Costruzione   | Cuscinetto a rulli conici (a una fila)  |   |  |
| Denominazione                                       | SKF 30207 (d=35.000 mm, D=72.000 mm, B=18.250 mm)*                                      |   |  |
| Commento  | SKF Explorer - SKF Popular Item   |   |  |
| Diametro interno                                    | <input type="text"/> d <input type="text"/> 35.000 mm <input type="button"/>            |   |  |
| Diametro esterno                                    | <input type="text"/> D <input type="text"/> 72.000 mm <input type="button"/>            |   |  |
| Larghezza nominale                                  | <input type="text"/> B <input type="text"/> 18.2500 mm <input type="button"/>           |   |  |
| Dimensioni angolo di contatto                       | <input type="text"/> S <input type="text"/> 5.8300 mm <input type="button"/>            |   |  |
| Gioco   | <input type="radio"/>   | Rigidezza/smorzamento <input type="radio"/> | Lubrificazione e calcoli addizionali <input type="radio"/> |
| Tolleranza  | non viene considerato   |   |  |
| Spostamento dell'anello esterno in direzione X      | <input type="text"/> $\delta_x$ <input type="text"/> 0.0000 mm <input type="button"/>   |   |  |
| Spostamento dell'anello esterno in direzione Y      | <input type="text"/> $\delta_y$ <input type="text"/> 0.0000 mm <input type="button"/>   |   |  |
| Forza di precarico in direzione Y                   | <input type="text"/> $F_y$ <input type="text"/> 0.0000 N <input type="button"/>         |   |  |
| Spostamento dell'anello esterno in direzione Z      | <input type="text"/> $\delta_z$ <input type="text"/> 0.0000 mm <input type="button"/>   |   |  |
| Inclinazione dell'anello esterno intorno all'asse X | <input type="text"/> $\delta_{xz}$ <input type="text"/> 0.0000 ° <input type="button"/> |   |  |
| Inclinazione dell'anello esterno intorno all'asse Z | <input type="text"/> $\delta_{yz}$ <input type="text"/> 0.0000 ° <input type="button"/> |   |  |

Figura 110: Caratteristiche cuscinetto destro relativo all'albero 3

La prima ruota conica calettata sull'albero 3 corrisponde alla ruota 3, ed è la ruota da cui entra la coppia. Le caratteristiche di questa ruota sono riportate di seguito.

The screenshot shows a software interface for defining a cone gear. The main title is "Ruota conica 3". The interface includes the following fields:

- Denominazione:** Ruota conica 3
- Posizione della ruota dentata sull'albero:** y = 40.0000 mm, Y = 40.0000 mm
- Posizione della ruota dentata nel sistema globale:**
- Ruote coniugate multiple:** Un checked checkbox.
- Posizione ingranamento:** a<sub>pos</sub> = 0.0000 °
- Larghezza dente:** b = 28.0000 mm
- Diametro del cono primitivo (medio):** d<sub>w</sub> = 168.0000 mm
- Diametro interno:** d<sub>i</sub> = 0.0000 mm
- Tipo di ingranaggio:** Ruota conica
- Orientamento:** Punta verso sinistra
- Angolo di pressione di funzionamento in sezione normale:** a<sub>wn</sub> = 20.0000 °
- Numero di denti (solo per presentazione):** z = 42
- Elica:** dentatura diritta
- Angolo d'elica (medio):** β<sub>m</sub> = 0.0000 °
- Angolo del cono primitivo di riferimento:** δ = 65.6589 °
- Potenza:** P = kW (radio button selected)
- Momento torcente:** T = Nm (radio button unselected)
- Direzione:** condotta (input)
- Spettro di carico:** Sollecitazione carico unico

Figura 111: Dati della ruota 3 calettata sull'albero 3

Le due ruote denominate 4 e 6 distribuiscono la coppia in ingresso ai due output del riduttore.  
Le due ruote presentano le seguenti caratteristiche.

|   |  |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Leggere i dati dal file            |  |
| <input type="checkbox"/> Considerare la matrice di rigidità |  |
| Denominazione   | Ruota cilindrica 4   |
| Posizione della ruota cilindrica sull'albero                | y <input type="text" value="80.0000"/> mm                  |
| Posizione della ruota cilindrica nel sistema globale        | Y <input type="text" value="80.0000"/> mm                  |
| <input type="checkbox"/> Ruote opposte multiple             |  |
| Posizione ingranamento                                      | $\alpha_{pos}$ <input type="text" value="0.0000"/> °       |
| Lunghezza dell'applicazione della forza                     | I <input type="text" value="30.0000"/> mm                  |
| Diametro primitivo di funzionamento                         | $d_w$ <input type="text" value="54.6429"/> mm              |
| Diametro interno (solo per rappresentazione)                | $d_i$ <input type="text" value="0.0000"/> mm               |
| Angolo di pressione di funzionamento in sezione normale     | $\alpha_{wN}$ <input type="text" value="21.7766"/> °       |
| Numero di denti (solo per presentazione)                    | z <input type="text" value="18"/>                          |
| Elica   | dentatura diritta  |
| Angolo d'elica del cerchio primitivo di funzionamento       | $\beta_w$ <input type="text" value="0.0000"/> °            |
| Potenza   | P <input type="text"/> kW <input checked="" type="radio"/> |
| Momento torcente  | T <input type="text"/> Nm <input type="radio"/>            |
| Direzione   | conduttrice (output)                                       |
| Spettro di carico   | Sollecitazione carico unico                                |
| <input type="checkbox"/> Leggere i dati dal file            |  |
| <input type="checkbox"/> Considerare la matrice di rigidità |  |
| Denominazione   | Ruota cilindrica 6   |
| Posizione della ruota cilindrica sull'albero                | y <input type="text" value="120.0000"/> mm                 |
| Posizione della ruota cilindrica nel sistema globale        | Y <input type="text" value="120.0000"/> mm                 |
| <input type="checkbox"/> Ruote opposte multiple             |  |
| Posizione ingranamento                                      | $\alpha_{pos}$ <input type="text" value="0.0000"/> °       |
| Lunghezza dell'applicazione della forza                     | I <input type="text" value="30.0000"/> mm                  |
| Diametro primitivo di funzionamento                         | $d_w$ <input type="text" value="287.7546"/> mm             |
| Diametro interno (solo per rappresentazione)                | $d_i$ <input type="text" value="0.0000"/> mm               |
| Angolo di pressione di funzionamento in sezione normale     | $\alpha_{wN}$ <input type="text" value="20.9388"/> °       |
| Numero di denti (solo per presentazione)                    | z <input type="text" value="143"/>                         |
| Elica   | dentatura diritta  |
| Angolo d'elica del cerchio primitivo di funzionamento       | $\beta_w$ <input type="text" value="0.0000"/> °            |
| Potenza   | P <input type="text"/> kW <input checked="" type="radio"/> |
| Momento torcente  | T <input type="text"/> Nm <input type="radio"/>            |
| Direzione   | conduttrice (output)                                       |
| Spettro di carico   | Sollecitazione carico unico                                |

Figura 112: Dati delle ruote in output calettate sull'albero 3

Sono state poi considerate le grandezze di dettaglio:

**Informazioni generali**

- Spetti di carico: Non considerare lo spettro di carico
- Ruote dentate: Ruote dentate considerate come massa e rigidezza
- Posizione asse albero nello spazio: Indicare la forza del peso come vettore
- Vettore: X, y, z: 0.0000, -1.0000, 0.0000
- Numero frequenze proprie: I: 0
- Numero di pressoflessioni: J: 0
- Numero di giri: n: 119.0680 1/min
- Direzione di rotazione: In senso orario
- Considerare il peso
- Considerare effetto giroscopico
- Considerare la deformazione a taglio (trave di Timoshenko, non trave di Euler-Bernoulli)

**Cuscinetti**

- Cuscinetti: Durata vita cuscinetti volventi in funzione della geometria interna (ISO/TS 16281)
- Campo di tolleranze: Valore medio
- Calcolo durata modificata sec. ISO 281
- Lubrificante: Immissione propria
- Temperatura lubrificante  $T_s$ : 70.0000 °C

**Scatola**

- Materiale scatola: Ac. da bonifica
- 42 CrMo 4 (1), legato, bonificato
- Temperatura scatola  $T_c$ : 20.0000 °C

**Calcolo**

| Metodo di calcolo  | Direttiva FKM (2020)                 | Caso di sollecitazione  | Caso di sovraccarico F2 (rapporto di sollecitazione costante) |
|--|--------------------------------------|---|---|
| Tipo di calcolo  | Resistente a fatica, vita illimitata | Sicurezza statica limite rottura $\lambda_{st}$ : 2.0000                                    |   |
| Durata della temperatura   | 1000.0000 h                          | Sicurezza carico unitario di rottura per scorrimento $\lambda_{st}$ : 1.5000                |   |
| Spessore dello strato protettivo   | 0.0000 µm                            | Sicurezza statica del limite di snervamento $\lambda_{st}$ : 1.5000                         |   |
| <input type="checkbox"/> Utilizza coeff. di supporto meccanico del materiale                         |                                      | Sicurezza carico unitario di snervamento per scorrimento $\lambda_{st}$ : 1.0000            |   |
| <input type="checkbox"/> Immettere sicurezze   |                                      | Coefficiente sicurezza (limite di fatica) $\lambda_f$ : 1.5000                              |   |
| <input type="checkbox"/> Calcolare limite di fatica delle componenti con strato marginale rinforzato |                                      | <input type="checkbox"/> Determinare la durata a cuore della resistenza alla trazione $R_m$ |   |
| <input type="checkbox"/> Fattore $K_f$ secondo le formule 4.3.2 e 4.3.3                              |                                      |   |   |

**Dati generali**

| Sollecitazione                                      | Trazione/compressione | Flessione | Torsione | Forza trasversale |
|---|-----------------------|-----------|----------|-------------------|
| Rapporto di sollecitazione                          | Pulsante              | Alternato | Pulsante | Alternato         |
| Coefficiente di carico, calcolo statico             | 0.0000                | -1.0000   | 0.0000   | -1.0000           |
| Coefficiente di carico, calcolo resistenza a fatica | 1.7000                | 1.7000    | 1.7000   | 1.7000            |
|   | 1.0000                | 1.0000    | 1.0000   | 1.0000            |

Figura 113: Grandezze di dettaglio relative all'analisi dell'albero 3

Per analizzare il funzionamento dell'albero 3 è stato necessario osservare tre differenti possibili configurazioni di caricamento in funzione del duty cycle fornito dalla consegna. Questo perché l'albero 3 è l'elemento che pone in collegamento l'input ad entrambi gli output.

| STEP   | Percentuale di applicazione del carico | Output 2 | Output 1 | input |
|--------|--|----------|----------|-------|
| RPM    |  | 719      | 23       | 312   |
| 1 [kW] | 10%                                    | 0.00     | 7.30     | 7.30  |
| 2 [kW] | 65%                                    | 5.00     | 3.00     | 8.00  |
| 3 [kW] | 35%                                    | 2.70     | 1.80     | 4.50  |

Figura 114: Ciclo di carico a cui è sottoposto il riduttore

Mentre per le ruote degli altri alberi il valore di potenza risultava univoco, per le ruote dell'albero 3 questa dipende dal ciclo di carico considerato. Durante l'analisi le tre configurazioni sono state denominate:

- Step 1;
- Step 2;
- Step 3.

Si procede quindi all'analisi di ciascun step di funzionamento.

**Step 1** In questa configurazione i dati assunti dagli elementi coinvolti durante il funzionamento dell'albero sono:

- Potenza assorbita ruota 3 pari a 7.3 kW;
- Potenza erogata ruota 4 (output 1) pari a 7.3 kW;
- Potenza assorbita ruota 6 (output 2) pari a 0 kW;

Dal Report fornito dal software è possibile ottenere ulteriori informazioni di interesse sull'albero appena progettato.

*Applicazione del carico*

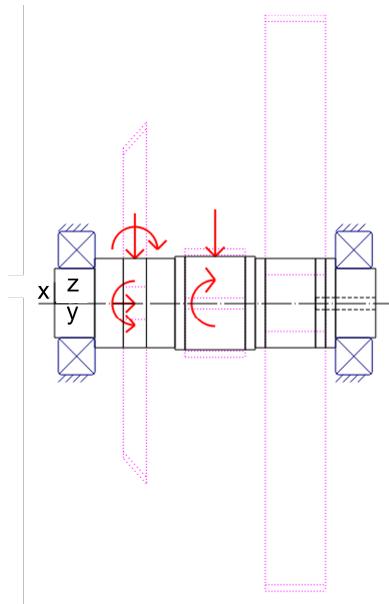


Figura 115: Applicazione del carico lungo l'albero 3

## Forze agenti sulle ruote

### 3.3.3 Ruota conica (Ruota conica 3)

|  |                        |                              |
|--|------------------------|------------------------------|
| Posizione sull'albero (mm)                       | [y <sub>local</sub> ]  | 40.000                       |
| Posizione nel sistema globale (mm)               | [y <sub>global</sub> ] | 40.000                       |
| Diametro primitivo di funzionamento (mm)         |                        | 168.000                      |
| Dentatura diritta                                |                        |                              |
| Angolo del cono primitivo di riferimento (°)     |                        | 65.6589 Punta verso sinistra |
| Angolo di pressione normale in funzionamento (°) |                        | 20.0000                      |
| Posizione ingranamento (°)                       |                        | 0.0000                       |
| Larghezza dente (mm)                             |                        | 28.0000                      |
| Potenza (kW)                                     |                        | 7.3000 condotta (input)      |
| Momento torcente (Nm)                            |                        | 585.4626                     |
| Forza assiale (N)                                |                        | 2311.2961                    |
| Forza trasversale X (N)                          |                        | -1045.5863                   |
| Forza trasversale Z (N)                          |                        | -6969.7933                   |
| Momento flettente X (Nm)                         |                        | -0.0000                      |
| Momento flettente Z (Nm)                         |                        | 194.1489                     |

### 3.3.1 Ruota cilindrica (Ruota cilindrica 4)

|  |                        |                             |
|--|------------------------|-----------------------------|
| Posizione sull'albero (mm)                       | [y <sub>local</sub> ]  | 80.0000                     |
| Posizione nel sistema globale (mm)               | [y <sub>global</sub> ] | 80.0000                     |
| Diametro primitivo di funzionamento (mm)         |                        | 54.6429                     |
| Dentatura diritta                                |                        |                             |
| Angolo di pressione normale in funzionamento (°) |                        | 21.7766                     |
| Posizione ingranamento (°)                       |                        | 0.0000                      |
| Lunghezza dell'applicazione della forza (mm)     |                        | 30.0000                     |
| Potenza (kW)                                     |                        | 7.3000 conduttrice (output) |
| Momento torcente (Nm)                            |                        | -585.4626                   |
| Forza assiale (N)                                |                        | 0.0000                      |
| Forza trasversale X (N)                          |                        | -8560.7179                  |
| Forza trasversale Z (N)                          |                        | 21428.6978                  |
| Momento flettente X (Nm)                         |                        | -0.0000                     |
| Momento flettente Z (Nm)                         |                        | 0.0000                      |

Figura 116: Valore delle forze trasmesse sull'albero 3

## Dettagli cuscinetti

### 3.4.2 Cuscinetto a rotolamento 2 (SKF 30207)

| Forma strutturale cuscinetto   | Cuscinetto a rulli conici (a una fila) SKF Explorer |
|--|---|
| Posizione cuscinetto (mm)  | [y <sub>local</sub> ]                               |
| Posizione cuscinetto (mm)  | [y <sub>global</sub> ]                              |
| Fissaggio anello esterno   | Cuscinetto fisso disposto a destra                  |
| Diametro interno (mm)  | [d]   |
| Diametro esterno (mm)  | [D]   |
| Larghezza (mm)   | [b]   |
| Raggio d'angolo (mm)   | [r]   |
| Numero di corpi volventi   | [Z]   |
| Cerchio primitivo corpi volventi (mm)  | [D <sub>pw</sub> ]                                  |
| Diametro corpi volventi (mm)   | [D <sub>v</sub> ]                                   |
| Lunghezza corpi volventi (mm)  | [L <sub>wv</sub> ]                                  |
| Distanza a (mm)  | [a]   |
| Diametro pista esterna (mm)  | [d <sub>e</sub> ]                                   |
| Diametro pista interna (mm)  | [d <sub>i</sub> ]                                   |
| Calcolo con geometria interna del cuscinetto approssimativa (*)                |   |
| Gioco cuscinetti   | 0.00 µm   |
| L'angolo di contatto del cuscinetto viene tenuto in considerazione nel calcolo |   |
| Posizione (centro di pressione) (mm)   |   |
| 143.2950   |   |
| Fattore di carico statico (kN)   | [C <sub>s</sub> ]                                   |
| Fattore di carico dinamico (kN)  | [C]   |
| Fattore di carico fatica (kN)  | [C <sub>f</sub> ]                                   |
| Valori per la geometria approssimata:  |   |
| Fattore di carico dinamico (kN)  | [C <sub>req</sub> ]                                 |
| Fattore di carico statico (kN)   | [C <sub>one</sub> ]                                 |
| Fattore di correzione fattore di carico dinamico [f <sub>c</sub> ]             | 1.000   |
| Fattore di correzione fattore di carico statico [f <sub>c<sub>s</sub></sub> ]  | 1.000   |

### 3.4.1 Cuscinetto a rotolamento 1 (SKF 30207)

| Forma strutturale cuscinetto   | Cuscinetto a rulli conici (a una fila) SKF Explorer |
|--|---|
| Posizione cuscinetto (mm)  | [y <sub>local</sub> ]                               |
| Posizione cuscinetto (mm)  | [y <sub>global</sub> ]                              |
| Fissaggio anello esterno   | Cuscinetto fisso disposto a sinistra                |
| Diametro interno (mm)  | [d]   |
| Diametro esterno (mm)  | [D]   |
| Larghezza (mm)   | [b]   |
| Raggio d'angolo (mm)   | [r]   |
| Numero di corpi volventi   | [Z]   |
| Cerchio primitivo corpi volventi (mm)  | [D <sub>pw</sub> ]                                  |
| Diametro corpi volventi (mm)   | [D <sub>v</sub> ]                                   |
| Lunghezza corpi volventi (mm)  | [L <sub>wv</sub> ]                                  |
| Distanza a (mm)  | [a]   |
| Diametro pista esterna (mm)  | [d <sub>e</sub> ]                                   |
| Diametro pista interna (mm)  | [d <sub>i</sub> ]                                   |
| Calcolo con geometria interna del cuscinetto approssimativa (*)                |   |
| Gioco cuscinetti   | 0.00 µm   |
| L'angolo di contatto del cuscinetto viene tenuto in considerazione nel calcolo |   |
| Posizione (centro di pressione) (mm)   |   |
| 16.8300  |   |
| Fattore di carico statico (kN)   | [C <sub>s</sub> ]                                   |
| Fattore di carico dinamico (kN)  | [C]   |
| Fattore di carico fatica (kN)  | [C <sub>f</sub> ]                                   |
| Valori per la geometria approssimata:  |   |
| Fattore di carico dinamico (kN)  | [C <sub>req</sub> ]                                 |
| Fattore di carico statico (kN)   | [C <sub>one</sub> ]                                 |
| Fattore di correzione fattore di carico dinamico [f <sub>c</sub> ]             | 1.000   |
| Fattore di correzione fattore di carico statico [f <sub>c<sub>s</sub></sub> ]  | 1.000   |

Figura 117: Valore delle forze trasmesse sull'albero 3

### *Deformazione dell'albero*

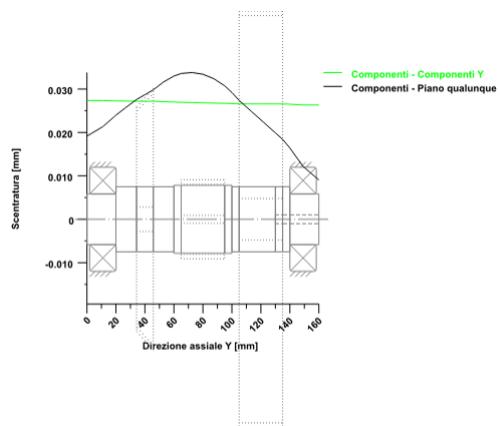
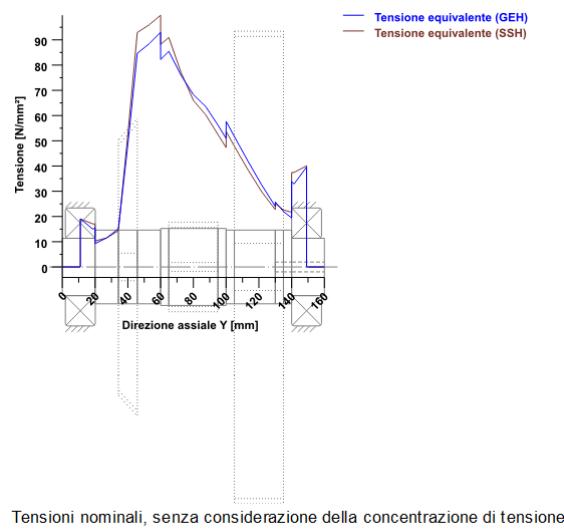


Figura 118: Deformata dell'albero 3

### *Andamento della tensione equivalente*



Tensioni nominali, senza considerazione della concentrazione di tensione  
 GEH(von Mises):  $\text{sigV} = ((\text{sigB} + \text{sigZ}, D)^2 + 3(\tau_{\text{T}} + \tau_{\text{S}})^2)^{1/2}$   
 SSH(Tresca):  $\text{sigV} = ((\text{sigB} - \text{sigZ}, D)^2 + 4(\tau_{\text{T}} + \tau_{\text{S}})^2)^{1/2}$

Figura 119: Andamento della tensione equivalente lungo l'albero 3

Infine, attraverso la compilazione del software si è osservato come tutte le sezioni fossero ampiamente verificate sia staticamente che a fatica.

|  |            |            |                         |            |
|--|------------|------------|-------------------------|------------|
| <b>Risultati</b>                                       |            |            |                         |            |
| inflessione massima                                    |            |            | 33.81 $\mu\text{m}$     |            |
| tensione equivalente massima                           |            |            | 92.98 N/mm <sup>2</sup> |            |
| durata minima di vita del cuscinetto                   |            |            | 162367.63 h             |            |
| sicurezza statica minima del cuscinetto                |            |            | 4.99                    |            |
| sicurezza minima alla fatica                           |            |            | 4.86                    |            |
| sicurezza statica minima                               |            |            | 5.58                    |            |
|  |            |            |                         | 371.83     |
| <b>Sicurezze</b>                                       |            |            |                         |            |
| Fatica   | statico    | Fatica     |                         |            |
| Sezione raggio di raccordo sx                          | 4.86       | 5.58       | 324.29                  |            |
| Sezione gola dx  | 9.76       | 11.62      | 650.86                  |            |
| Sezione gola sx  | 22.43      | 26.61      | 1495.53                 |            |
| Sezione raggi di raccordo dx                           | 5.41       | 9.07       | 360.93                  |            |
|  |            |            |                         | 774.77     |
|  |            |            |                         | 1774.14    |
|  |            |            |                         | 604.83     |
| <b>Calcolo in base a ISO 76, ISO 281, ISO/TS 16281</b> |            |            |                         |            |
| <b>Risultati</b>                                       |            |            |                         |            |
| Cuscinetto a rotolamento 1                             |            | S0         | L10h                    |            |
| Cuscinetto a rotolamento 2                             |            | 9.11       | 331199 h                |            |
|  |            | 4.99       | 44505 h                 |            |
|  |            |            |                         | 858090 h   |
|  |            |            |                         | 162368 h   |
| <b>Forza di reazione del cuscinetto</b>                |            |            |                         |            |
| Cuscinetto a rotolamento 1                             | Componenti | X          | Y                       | Z          |
|  | F          | 3.582 kN   | 1.753 kN                | -4.993 kN  |
|  | M          | -35.143 Nm | 0.000 Nm                | -25.248 Nm |
| Cuscinetto a rotolamento 2                             | F          | 6.024 kN   | -3.880 kN               | -9.466 kN  |
|  | M          | 66.187 Nm  | 0.000 Nm                | 42.206 Nm  |
|  |            |            |                         | Rxz        |
|  |            |            |                         | 6.145 kN   |
|  |            |            |                         | 43.273 Nm  |
|  |            |            |                         | 11.220 kN  |
|  |            |            |                         | 78.498 Nm  |

Figura 120: Risultato dell'analisi statica e a fatica delle sezioni di interesse dell'albero 3

**Step 2** In questa configurazione i dati assunti dagli elementi coinvolti durante il funzionamento dell'albero sono:

- Potenza assorbita ruota 3 pari a 8 kW;
- Potenza erogata ruota 4 (output 1) pari a 3 kW;
- Potenza assorbita ruota 6 (output 2) pari a 5 kW;

Dal Report fornito dal software è possibile ottenere ulteriori informazioni di interesse sull'albero appena progettato.

#### *Applicazione del carico*

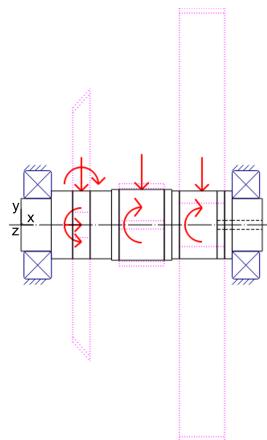


Figura 121: Applicazione del carico lungo l'albero 3

## Forze agenti sulle ruote

| (Ruota cilindrica)  | (Ruota cilindrica 4) | (Ruota cilindrica 6) | (Ruota conica 3) |
|---|----------------------|----------------------|------------------|
| Posizione sull'albero (mm) [y <sub>local</sub> ]          | 80.0000              | 120.0000             | 40.0000          |
| Posizione nel sistema globale (mm) [y <sub>global</sub> ] | 80.0000              | 120.0000             | 40.0000          |
| Diametro primitivo di funzionamento (mm)                  | 54.6429              | 287.7546             | 168.0000         |
| Dentatura diritta   |                      |                      |                  |
| Angolo di pressione normale in funzionamento (°)          | 21.7766              | 20.9388              | 20.0000          |
| Posizione ingranamento (°)                                | 0.0000               | 0.0000               | 0.0000           |
| Lunghezza dell'applicazione della forza (mm)              | 30.0000              | 30.0000              | 28.0000          |
| Potenza (kW)  | 3.0000               | 5.0000               | 8.0000           |
| Momento torcente (Nm)                                     | -240.6011            | -401.0018            | 641.6029         |
| Forza assiale (N)   | 0.0000               | 0.0000               | 2532.9272        |
| Forza trasversale X (N)                                   | -3518.1033           | -1066.4559           | -1145.8480       |
| Forza trasversale Z (N)                                   | 8806.3142            | 2787.1096            | -7638.1296       |
| Momento flettente X (Nm)                                  | -0.0000              | -0.0000              | -0.0000          |
| Momento flettente Z (Nm)                                  | 0.0000               | 0.0000               | 212.7659         |
| Angolo del cono primitivo di riferimento (°)              |                      |                      | 65.6589          |

Figura 122: Valore delle forze trasmesse sull'albero 3

## Dettagli cuscinetti

| 3.4.1 Cuscinetto a rotolamento 1 (SKF 30207)                                   | 3.4.2 Cuscinetto a rotolamento 2 (SKF 30207) |
|--|--|
| Forma strutturale cuscinetto SKF Explorer                                      | Cuscinetto a rulli conici (una fila)         |
| Posizione cuscinetto (mm) [y <sub>local</sub> ]                                | 11.000                                       |
| Posizione cuscinetto (mm) [y <sub>global</sub> ]                               | 11.000                                       |
| Fissaggio anello esterno   | Cuscinetto fisso disposto a sinistra         |
| Diametro interno (mm) [d]  | 35.000                                       |
| Diametro esterno (mm) [D]  | 72.000                                       |
| Larghezza (mm) [b]   | 18.250                                       |
| Raggio d'angolo (mm) [r]   | 1.500  |
| Numero di corpi volventi [Z]   | 17   |
| Cerchio primitivo corpi volventi (mm) [D <sub>pr</sub> ]                       | 53.742                                       |
| Diametro corpi volventi (mm) [D <sub>v</sub> ]                                 | 9.450  |
| Lunghezza corpi volventi (mm) [L <sub>v</sub> ]                                | 9.846  |
| Distanza a (mm) [a]  | 14.955                                       |
| Diametro pista esterna (mm) [d <sub>e</sub> ]                                  | 62.987                                       |
| Diametro pista interna (mm) [d <sub>i</sub> ]                                  | 44.497                                       |
| Calcolo con geometria interna del cuscinetto approssimativa (*)                |  |
| Gioco cuscinetti   | 0.00 µm                                      |
| L'angolo di contatto del cuscinetto viene tenuto in considerazione nel calcolo |  |
| Posizione (centro di pressione) (mm)   |  |
| 16.8300  |  |
| Fattore di carico statico (kN) [C <sub>s</sub> ]                               | 56.000                                       |
| Fattore di carico dinamico (kN) [C <sub>d</sub> ]                              | 63.200                                       |
| Fattore di carico fatica (kN) [C <sub>f</sub> ]                                | 6.100  |
| Valori per la geometria approssimata:  |  |
| Fattore di carico dinamico (kN) [C <sub>red</sub> ]                            | 52.742                                       |
| Fattore di carico statico (kN) [C <sub>oneq</sub> ]                            | 56.000                                       |
| Fattore di correzione fattore di carico dinamico [f <sub>c</sub> ]             | 1.000  |
| Fattore di correzione fattore di carico statico [f <sub>cs</sub> ]             | 1.000  |
| Forma strutturale cuscinetto SKF Explorer                                      | Cuscinetto a rulli conici (una fila)         |
| Posizione cuscinetto (mm) [y <sub>local</sub> ]                                | 149.125                                      |
| Posizione cuscinetto (mm) [y <sub>global</sub> ]                               | 149.125                                      |
| Fissaggio anello esterno   | Cuscinetto fisso disposto a destra           |
| Diametro interno (mm) [d]  | 35.000                                       |
| Diametro esterno (mm) [D]  | 72.000                                       |
| Larghezza (mm) [b]   | 18.250                                       |
| Raggio d'angolo (mm) [r]   | 1.500  |
| Numero di corpi volventi [Z]   | 17   |
| Cerchio primitivo corpi volventi (mm) [D <sub>pr</sub> ]                       | 53.742                                       |
| Diametro corpi volventi (mm) [D <sub>v</sub> ]                                 | 9.450  |
| Lunghezza corpi volventi (mm) [L <sub>v</sub> ]                                | 9.846  |
| Distanza a (mm) [a]  | 14.955                                       |
| Diametro pista esterna (mm) [d <sub>e</sub> ]                                  | 62.987                                       |
| Diametro pista interna (mm) [d <sub>i</sub> ]                                  | 44.497                                       |
| Calcolo con geometria interna del cuscinetto approssimativa (*)                |  |
| Gioco cuscinetti   | 0.00 µm                                      |
| L'angolo di contatto del cuscinetto viene tenuto in considerazione nel calcolo |  |
| Posizione (centro di pressione) (mm)   |  |
| 143.2950   |  |
| Fattore di carico statico (kN) [C <sub>s</sub> ]                               | 56.000                                       |
| Fattore di carico dinamico (kN) [C <sub>d</sub> ]                              | 63.200                                       |
| Fattore di carico fatica (kN) [C <sub>f</sub> ]                                | 6.100  |
| Valori per la geometria approssimata:  |  |
| Fattore di carico dinamico (kN) [C <sub>red</sub> ]                            | 52.742                                       |
| Fattore di carico statico (kN) [C <sub>oneq</sub> ]                            | 56.000                                       |
| Fattore di correzione fattore di carico dinamico [f <sub>c</sub> ]             | 1.000  |
| Fattore di correzione fattore di carico statico [f <sub>cs</sub> ]             | 1.000  |

Figura 123: Valore delle forze trasmesse sull'albero 3

### *Deformazione dell'albero*

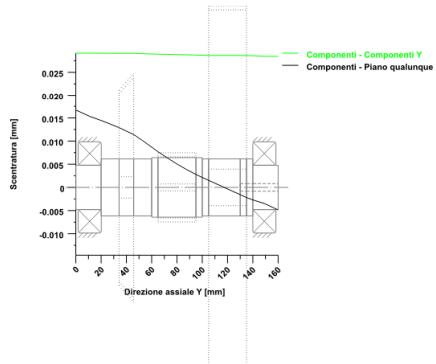


Figura 124: Deformata dell'albero 3

### *Andamento della tensione equivalente*

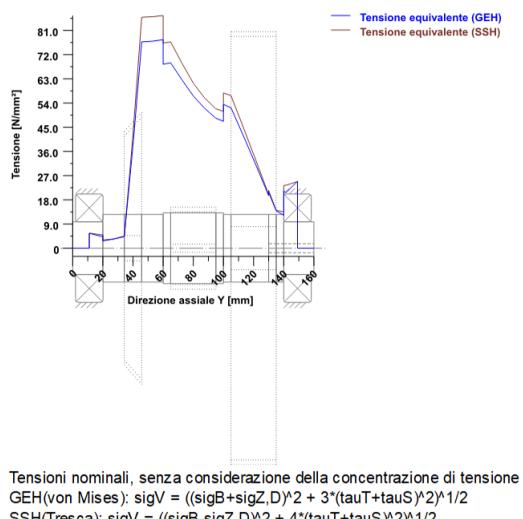


Figura 125: Andamento della tensione equivalente lungo l'albero 3

Infine, attraverso la compilazione del software si è osservato come tutte le sezioni fossero ampiamente verificate sia staticamente che a fatica.

|  |           |           |                         |           |
|--|-----------|-----------|-------------------------|-----------|
| <b>Risultati</b>                                       |           |           |                         |           |
| inflessione massima                                    |           |           | 16.70 $\mu$ m           |           |
| tensione equivalente massima                           |           |           | 77.54 N/mm <sup>2</sup> |           |
| durata minima di vita del cuscinetto                   |           |           | 731815.16 h             |           |
| sicurezza statica minima del cuscinetto                |           |           | 7.99                    |           |
| sicurezza minima alla fatica                           |           |           | 7.15                    |           |
| sicurezza statica minima                               |           |           | 6.77                    |           |
| <b>Calcolo in base a ISO 76, ISO 281, ISO/TS 16281</b> |           |           |                         |           |
| <b>Risultati</b>                                       |           |           |                         |           |
| Cuscinetto a rotolamento 1                             |           | S0        | L10h                    |           |
| Cuscinetto a rotolamento 2                             |           | 30.98     | > 1000000 h             |           |
| Forza di reazione del cuscinetto                       |           | 7.99      | 182244 h                |           |
| Cuscinetto a rotolamento 1                             |           |           |                         | Lnh       |
| Cuscinetto a rotolamento 2                             |           |           |                         | 731815 h  |
| <b>Componenti</b>                                      |           | X         | Y                       | Z         |
| F  | 1.179 kN  | 0.494 kN  | 1.370 kN                | Rxz       |
| M  | 9.342 Nm  | 0.000 Nm  | -8.129 Nm               | 1.807 kN  |
| F  | 4.551 kN  | -2.843 kN | -5.325 kN               | 12.383 Nm |
| M  | 36.244 Nm | 0.000 Nm  | 31.761 Nm               | 7.005 kN  |
|  |           |           |                         | 48.191 Nm |

Figura 126: Risultato dell’analisi statica e a fatica delle sezioni di interesse dell’albero 3

**Step 3** In questa configurazione i dati assunti dagli elementi coinvolti durante il funzionamento dell’albero sono:

- Potenza assorbita ruota 3 pari a 4.5 kW;
- Potenza erogata ruota 4 (output 1) pari a 1.8 kW;
- Potenza assorbita ruota 6 (output 2) pari a 2.7 kW;

Dal Report fornito dal software è possibile ottenere ulteriori informazioni di interesse sull’albero appena progettato.

#### *Applicazione del carico*

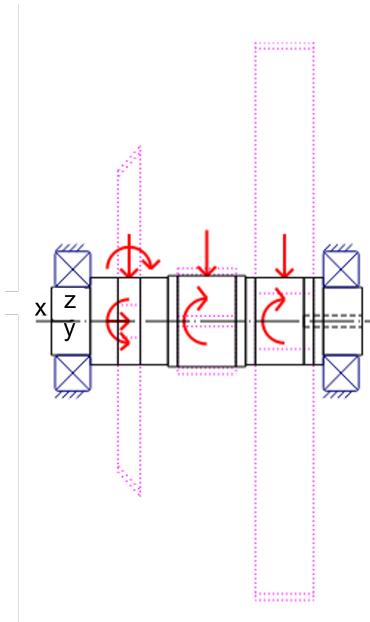


Figura 127: Applicazione del carico lungo l’albero 3

## Forze agenti sulle ruote

| Ruota cilindrica                                 | (Ruota cilindrica 4) | (Ruota cilindrica 6) | (Ruota conica 3) |
|--|----------------------|----------------------|------------------|
| Posizione sull'albero (mm) [y <sub>local</sub> ] | 80.0000              | 120.0000             | 40.0000          |
| Posizione nel sistema globale (mm)               | 80.0000              | 120.0000             | 40.0000          |
| Diametro primitivo di funzionamento (mm)         | 54.6429              | 287.7546             | 168.0000         |
| Dentatura diritta                                |                      |                      |                  |
| Angolo di pressione normale in funzionamento (°) | 21.7766              | 20.9388              | 20.0000          |
| Posizione ingranamento (*)                       | 0.0000               | 0.0000               | 0.0000           |
| Lunghezza dell'applicazione della forza (mm)     | 30.0000              | 30.0000              | 28.0000          |
| Potenza (kW)                                     | 1.8000               | 2.7000               | 4.5000           |
| Momento torcente (Nm)                            | -144.3606            | -216.5410            | 360.9016         |
| Forza assiale (N)                                | 0.0000               | 0.0000               | 1424.7716        |
| Forza trasversale X (N)                          | -210.8620            | -575.8862            | -644.5395        |
| Forza trasversale Z (N)                          | 5283.7885            | 1505.0392            | -4296.4479       |
| Momento flettente X (Nm)                         | -0.0000              | -0.0000              | -0.0000          |
| Momento flettente Z (Nm)                         | 0.0000               | 0.0000               | 119.6808         |
| Angolo del cono primitivo di riferimento (*)     |                      |                      | 65.6589          |

Figura 128: Valore delle forze trasmesse sull'albero 3

## Dettagli cuscinetti

### 3.4.1 Cuscinetto a rotolamento 1 (SKF 30207)

| Forma strutturale cuscinetto   | Cuscinetto a rulli conici (a una fila)<br>SKF Explorer |
|--|--|
| Posizione cuscinetto (mm) [y <sub>local</sub> ]                                | 11.000   |
| Posizione cuscinetto (mm) [y <sub>global</sub> ]                               | 11.000   |
| Fissaggio anello esterno   | Cuscinetto fisso disposto a sinistra                   |
| Diametro interno (mm) [d]  | 35.000   |
| Diametro esterno (mm) [D]  | 72.000   |
| Larghezza (mm) [b]   | 18.250   |
| Raggio d'angolo (mm) [r]   | 1.500  |
| Numeri di corpi volventi [Z]   | 17   |
| Cerchio primitivo corpi volventi (mm)  | [D <sub>pa</sub> ] 53.742                              |
| Diametro corpi volventi (mm) [D <sub>a</sub> ]                                 | 9.450  |
| Lunghezza corpi volventi (mm) [L <sub>pa</sub> ]                               | 9.846  |
| Distanza a (mm) [a]  | 14.955   |
| Diametro pista esterna (mm) [d <sub>e</sub> ]                                  | 62.987   |
| Diametro pista interna (mm) [d <sub>i</sub> ]                                  | 44.497   |
| Calcolo con geometria interna del cuscinetto approssimativa (*)                |  |
| Gioco cuscinetti   | 0.00 µm  |
| L'angolo di contatto del cuscinetto viene tenuto in considerazione nel calcolo |  |
| Posizione (centro di pressione) (mm)   |  |
| 16.8300  |  |
| Fattore di carico statico (kN) [C <sub>0</sub> ]                               | 56.000   |
| Fattore di carico dinamico (kN) [C]  | 63.200   |
| Fattore di carico fatica (kN) [C <sub>f</sub> ]                                | 6.100  |
| Valori per la geometria approssimata:  |  |
| Fattore di carico dinamico (kN) [C <sub>dyn</sub> ]                            | 52.742   |
| Fattore di carico statico (kN) [C <sub>0dyn</sub> ]                            | 56.000   |
| Fattore di correzione fattore di carico dinamico [f <sub>c</sub> ]             | 1.000  |
| Fattore di correzione fattore di carico statico [f <sub>C<sub>0</sub></sub> ]  | 1.000  |

### 3.4.2 Cuscinetto a rotolamento 2 (SKF 30207)

| Forma strutturale cuscinetto   | Cuscinetto a rulli conici (a una fila)<br>SKF Explorer |
|--|--|
| Posizione cuscinetto (mm) [y <sub>local</sub> ]                                | 149.125  |
| Posizione cuscinetto (mm) [y <sub>global</sub> ]                               | 149.125  |
| Fissaggio anello esterno   | Cuscinetto fisso disposto a destra                     |
| Diametro interno (mm) [d]  | 35.000   |
| Diametro esterno (mm) [D]  | 72.000   |
| Larghezza (mm) [b]   | 18.250   |
| Raggio d'angolo (mm) [r]   | 1.500  |
| Numeri di corpi volventi [Z]   | 17   |
| Cerchio primitivo corpi volventi (mm)  | [D <sub>pa</sub> ] 53.742                              |
| Diametro corpi volventi (mm) [D <sub>a</sub> ]                                 | 9.450  |
| Lunghezza corpi volventi (mm) [L <sub>pa</sub> ]                               | 9.846  |
| Distanza a (mm) [a]  | 14.955   |
| Diametro pista esterna (mm) [d <sub>e</sub> ]                                  | 62.987   |
| Diametro pista interna (mm) [d <sub>i</sub> ]                                  | 44.497   |
| Calcolo con geometria interna del cuscinetto approssimativa (*)                |  |
| Gioco cuscinetti   | 0.00 µm  |
| L'angolo di contatto del cuscinetto viene tenuto in considerazione nel calcolo |  |
| Posizione (centro di pressione) (mm)   |  |
| 143.2950   |  |
| Fattore di carico statico (kN) [C <sub>0</sub> ]                               | 56.000   |
| Fattore di carico dinamico (kN) [C]  | 63.200   |
| Fattore di carico fatica (kN) [C <sub>f</sub> ]                                | 6.100  |
| Valori per la geometria approssimata:  |  |
| Fattore di carico dinamico (kN) [C <sub>dyn</sub> ]                            | 52.742   |
| Fattore di carico statico (kN) [C <sub>0dyn</sub> ]                            | 56.000   |
| Fattore di correzione fattore di carico dinamico [f <sub>c</sub> ]             | 1.000  |
| Fattore di correzione fattore di carico statico [f <sub>C<sub>0</sub></sub> ]  | 1.000  |

Figura 129: Valore delle forze trasmesse sull'albero 3

*Deformazione dell'albero*

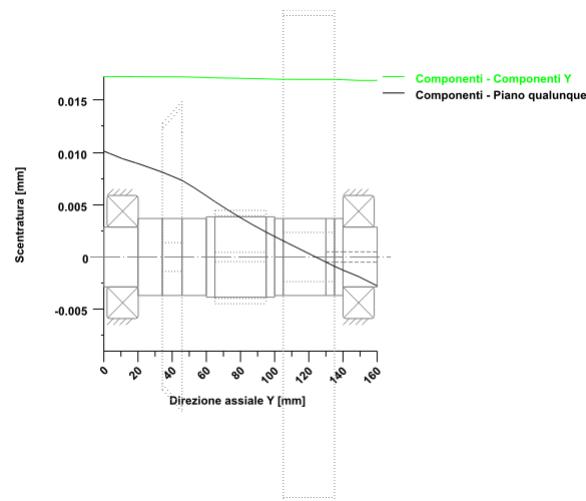
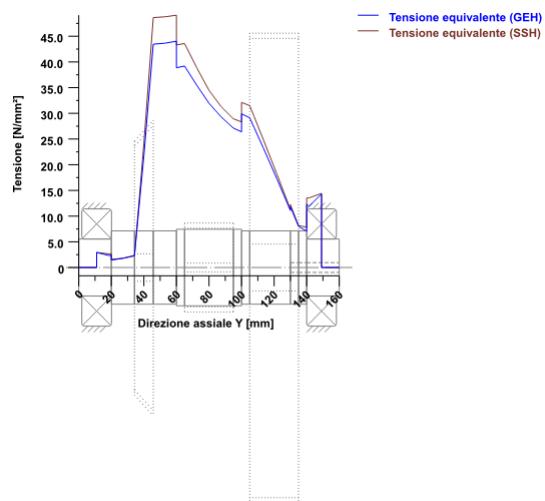


Figura 130: Deformata dell'albero 3

*Andamento della tensione equivalente*



Tensioni nominali, senza considerazione della concentrazione di tensione  
 GEH(von Mises):  $\text{sigV} = ((\text{sigB} + \text{sigZ}, \text{D})^2 + 3 * (\tau_{\text{T}} + \tau_{\text{S}})^2)^{1/2}$   
 SSH(Tresca):  $\text{sigV} = ((\text{sigB} - \text{sigZ}, \text{D})^2 + 4 * (\tau_{\text{T}} + \tau_{\text{S}})^2)^{1/2}$

Figura 131: Andamento della tensione equivalente lungo l'albero 3

Infine, attraverso la compilazione del software si è osservato come tutte le sezioni fossero ampiamente verificate sia staticamente che a fatica.

|  |                   |             |             |                         |
|--|-------------------|-------------|-------------|-------------------------|
| <b>Risultati</b>                                       |                   |             |             |                         |
| inflessione massima                                    |                   |             |             |                         |
| tensione equivalente massima                           |                   |             |             |                         |
| durata minima di vita del cuscinetto                   |                   |             |             |                         |
| sicurezza statica minima del cuscinetto                |                   |             |             |                         |
| sicurezza minima alla fatica                           |                   |             |             |                         |
| sicurezza statica minima                               |                   |             |             |                         |
|  |                   |             |             |                         |
| <b>Sicurezze</b>                                       |                   |             |             |                         |
| <b>Fatica</b>  | <b>statico</b>    |             |             |                         |
| Sezione raggio di raccordo sx                          | 12.50             | 11.92       | 833.40      | 10.16 µm                |
| Sezione gola dx  | 26.98             | 32.00       | 1798.79     | 44.04 N/mm <sup>2</sup> |
| Sezione gola sx  | 144.73            | 171.22      | 9648.62     | > 1000000 h             |
| Sezione raggi di raccordo dx                           | 15.52             | 17.54       | 1035.00     | 13.80                   |
|  |                   |             |             | 12.50                   |
|  |                   |             |             | 11.92                   |
| <b>Risultati [%]</b>                                   |                   |             |             |                         |
| <b>Fatica</b>  | <b>statico</b>    |             |             |                         |
| Sezione raggio di raccordo sx                          | 50                | L10h        | Linh        | <b>pmax_i</b>           |
| Cuscinetto a rotolamento 1                             | 58.78             | > 1000000 h | > 1000000 h | 822 N/mm <sup>2</sup>   |
| Cuscinetto a rotolamento 2                             | 13.80             | > 1000000 h | > 1000000 h | 1239 N/mm <sup>2</sup>  |
| <b>Calcolo in base a ISO 76, ISO 281, ISO/TS 16281</b> |                   |             |             |                         |
| <b>Risultati</b>                                       | <b>Componenti</b> | <b>X</b>    | <b>Y</b>    | <b>Z</b>                |
| Cuscinetto a rotolamento 1                             | F                 | 725.696 N   | 262.092 N   | 617.373 N               |
| Cuscinetto a rotolamento 2                             | M                 | 4.224 Nm    | 0.000 Nm    | -5.005 Nm               |
|  | F                 | 2.605 kN    | -1.503 kN   | -3.110 kN               |
|  | M                 | 21.277 Nm   | 0.000 Nm    | 18.105 Nm               |
|  |                   |             |             | Rxz                     |
|  |                   |             |             | 952.778 N               |
|  |                   |             |             | 6.549 Nm                |
|  |                   |             |             | 4.057 kN                |
|  |                   |             |             | 27.938 Nm               |

Figura 132: Risultato dell’analisi statica e a fatica delle sezioni di interesse dell’albero 3

**Albero 4** Sono state individuate quattro sezioni di interesse:

- Una sezione in corrispondenza della gola di scarico;
- Una sezione in corrispondenza del raggio di raccordo dello spallamento;
- Una sezione in corrispondenza della fine del profilo scanalato;
- Una sezione in prossimità della fine del tratto conico.

| Denominazione        | Y [mm] | Temperatura di eser | Numero di giri [1/mi] | Numero di giri      | Senso di rotazione | Materiale       |
|----------------------|--------|---------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|-----------------|
| Albero 4<br>OUTPUT 1 | 0.0000 | 20.0000             | 23.0000               | Dati base / Calcolo | in senso orario    | 34 CrNiMo 6 (2) |

Figura 133: Albero 4

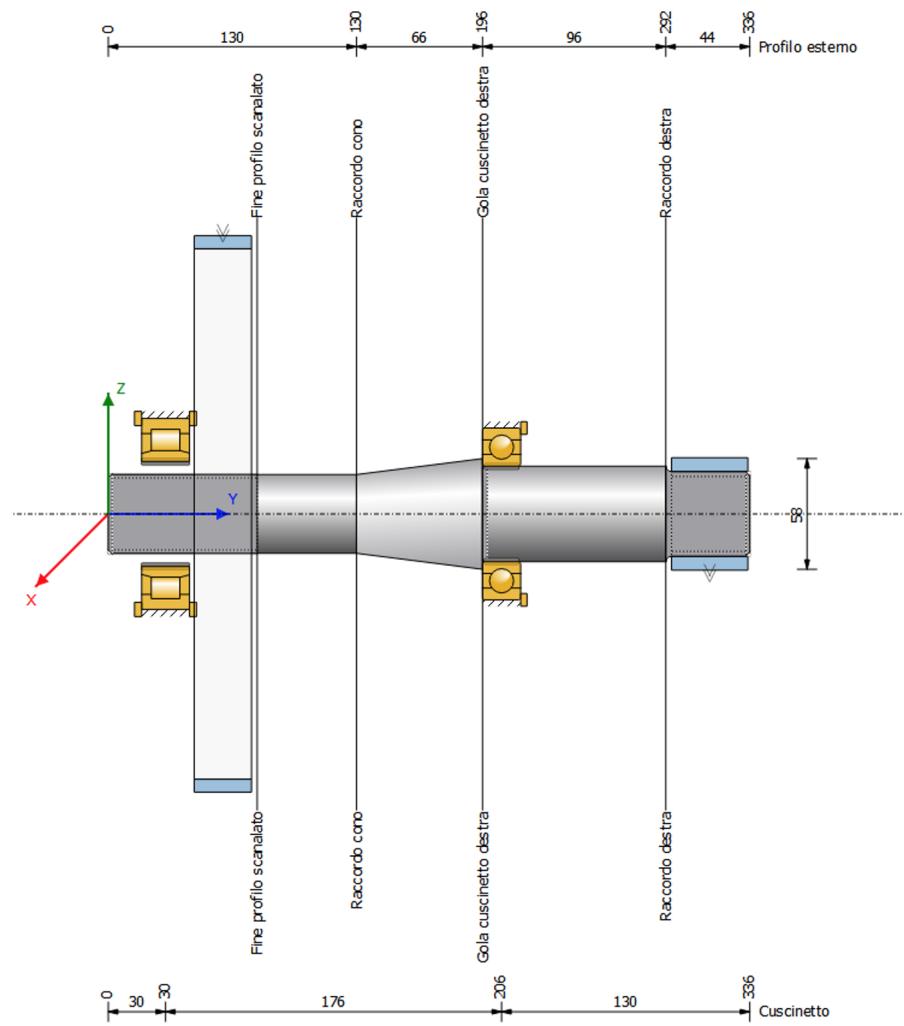


Figura 134: Layout Albero 4

Il cuscinetto sinistro inserito possiede le seguenti caratteristiche

|  |  |
|--|--|
| Denominazione                                  | Cuscinetto destra  |
| Posizione sull'albero                          |  |
| Posizione nel sistema globale                  | y 206.0000 mm<br>Y 206.0000 mm                             |
| Tipo di cuscinetto                             | Cuscinetto bloccato regolato a destra ->                   |
| Costruzione                                    | Cuscinetto radiale di sfere (a una fila)                   |
| Denominazione                                  | SKF 6210 (d=50.000 mm, D=90.000 mm, B=20.000 mm)*          |
| Commento                                       | SKF Explorer - SKF Popular Item                            |
| Diametro interno                               | d 50.000 mm  |
| Diametro esterno                               | D 90.000 mm  |
| Larghezza nominale                             | B 20.0000 mm   |
| Gioco  | Rigidezza/smorzamento Lubrificazione e calcoli addizionali |
| Gioco  | ISO 5753-1:2009 C0   |
| Spostamento dell'anello esterno in direzione X | $\delta_x$ 0.0000 mm                                       |
| Spostamento dell'anello esterno in direzione Y | $\delta_y$ 0.0000 mm                                       |
| Spostamento dell'anello esterno in direzione Z | $\delta_z$ 0.0000 mm                                       |

Figura 135: Caratteristiche cuscinetto sinistro relativo all'albero 4

mentre il cuscinetto destro

|  |   |
|--|---|
| Denominazione                                  | Cuscinetto sinistra   |
| Posizione sull'albero                          |   |
| Posizione nel sistema globale                  | y 30.0000 mm<br>Y 30.0000 mm                                |
| Tipo di cuscinetto                             | Cuscinetto bloccato regolato su entrambi i lati <->         |
| Costruzione                                    | Cuscinetto radiale di rulli cilindrici (ad una fila, pieni) |
| Denominazione                                  | INA SL182211-XL (d=55.000 mm, D=100.000 mm, B=25.000 mm)    |
| Commento                                       | X-life  |
| Diametro interno                               | d 55.000 mm   |
| Diametro esterno                               | D 100.000 mm  |
| Larghezza nominale                             | B 25.0000 mm  |
| Gioco  | Rigidezza/smorzamento Lubrificazione e calcoli addizionali  |
| Gioco  | DIN 620:1998 C0   |
| Spostamento dell'anello esterno in direzione X | $\delta_x$ 0.0000 mm  |
| Spostamento dell'anello esterno in direzione Y | $\delta_y$ 0.0000 mm  |
| Spostamento dell'anello esterno in direzione Z | $\delta_z$ 0.0000 mm  |

Figura 136: Caratteristiche cuscinetto destro relativo all'albero 4

La ruota cilindrica calettata sull'albero 4 corrisponde alla ruota 5, ed è la ruota da cui entra la coppia. Le caratteristiche di questa ruota sono riportate di seguito.

| Parametro   | Valore             | Unità        |
|---|--------------------|--------------|
| Denominazione   | Ruota cilindrica 5 |              |
| Posizione della ruota cilindrica sull'albero              | y                  | 60.0000 mm   |
| Posizione della ruota cilindrica nel sistema globale      | Y                  | 60.0000 mm   |
| <input type="checkbox"/> Ruote opposte multiple           | $a_{\text{pos}}$   | 0.0000 °     |
| Posizione Ingranamento                                    | I                  | 30.0000 mm   |
| Lunghezza dell'applicazione della forza                   | d <sub>e</sub>     | 285.3571 mm  |
| Diametro primitivo di funzionamento                       | d <sub>i</sub>     | 0.0000 mm    |
| Diametro interno (solo per rappresentazione)              | $a_{\text{in}}$    | 21.7766 °    |
| Angolo di ingressione di funzionamento in sezione normale | z                  | 94           |
| Numeri di denti (solo per presentazione)                  |                    |              |
| Elica   | dentatura diritta  |              |
| Angolo d'elica del cerchio primitivo di funzionamento     | $\beta_w$          | 0.0000 °     |
| Potenza   | P                  | 7.3000 kW    |
| Momento torcente  | T                  | 3030.8637 Nm |
| Direzione   | condotta (input)   |              |
| Spettro di carico   | Immissione propria |              |

Figura 137: Dati della ruota 5 calettata sull'albero 4

L'elemento di output della coppia corrisponde all'accoppiamento motore, schematizzazione dell'utenza (elemento raccoglitore).

| Parametro  | Valore               | Unità        |
|--|----------------------|--------------|
| Denominazione  | Utenza (lama)        |              |
| Centro di applicazione della forza sull'albero         | y                    | 315.0000 mm  |
| Centro di applicazione della forza nel sistema globale | Y                    | 315.0000 mm  |
| Lunghezza della applicazione della forza               | I                    | 40.0000 mm   |
| Diametro effettivo                                     | d                    | 0.0000 mm    |
| Fattore forza assiale                                  | F' <sub>A</sub>      | 0.0000       |
| Fattore forza radiale                                  | F' <sub>R</sub>      | 0.0000       |
| Direzione delle forze radiale                          | p                    | 0.0000 °     |
| Massa  | M                    | 0.0000 kg    |
| Potenza  | P                    | 7.3000 kW    |
| Momento torcente                                       | T                    | 3030.8637 Nm |
| Direzione  | conduttrice (Output) |              |
| Spettro di carico                                      | Immissione propria   |              |

Figura 138: Dati dell'accoppiamento motore (in questo caso utilizzatore) calettato sull'albero 4

Sono state poi considerate le grandezze di dettaglio:

| Editor alberi                      |   | Dati base  | Resistenza albero   |
|------------------------------------|---|--|---|
| <b>Informazioni generali</b>       |   |  |   |
| Spettri di carico                  | Non considerare lo spettro di carico                                      | Numero di giri n   | 23.0000 1/min   |
| Ruote dentate                      | Ruote dentate considerate come massa e rigidità                           | Direzione di rotazione   | in senso orario   |
| Posizione asse albero nello spazio | verticale (estremo sinistro dell'albero sotto)                            | <input checked="" type="checkbox"/> Considerare il peso  |   |
| Angolo $\beta$                     | 90.0000 °   | <input type="checkbox"/> Considerare effetto giroscopico   |   |
| Numero frequenze proprie i         | 0   | <input checked="" type="checkbox"/> Considerare la deformazione a taglio (trave di Timoshenko, non trave di Euler-Bernoulli) |   |
| Numero di pressflessioni j         | 0   |  |   |
| <b>Cuscinetti</b>                  |   |  |   |
| Cuscinetti                         | Durata vita cuscinetti volventi, calcolo classico (ISO 281 e dati fabbr.) | <input type="checkbox"/> Calcolo durata modificata sec. ISO 281  |   |
| Campo di tolleranze                | Valore medio  | Lubrificante   | Immissione propria  |
|                                    |   | Temperatura lubrificante $T_s$   | 70.0000 °C  |
| <b>Scatola</b>                     |   |  |   |
| Materiale scatola                  | Ac. da bonifica   | C45 (1), non legato, bonifi.   | <input type="checkbox"/> Temperatura scatola $T_c$ 20.0000 °C |

| Editor alberi   |                                      | Dati base  | Resistenza albero   |                   |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
|---|--------------------------------------|--|---|-------------------|-----------------------|-----------|----------|-------------------|----------------|----------|-----------|----------|-----------|----------------------------|--------|---------|--------|---------|---|--------|--------|--------|--------|---|--------|--------|--------|--------|
| <b>Calcolo</b>  |                                      |  |   |                   |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| Metodo di calcolo   | Direttiva FKM (2020)                 | Caso di sollecitazione   | Caso di sovraccarico F2 (rapporto di sollecitazione costante) |                   |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| Tipo di calcolo   | Resistente a fatica, vita illimitata | Sicurezza statica limite rottura $j_{st}$  | 2.0000  |                   |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| Durata della temperatura  | 1000.0000 h                          | Sicurezza carico unitario di rottura per scorrimento $j_{st}$                                | 1.5000  |                   |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| Spessore dello strato protettivo  | 0.0000 µm                            | Sicurezza statica del limite di snervamento $j_s$  | 1.5000  |                   |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| <input type="checkbox"/> Utilizza coeff. di supporto meccanico del materiale  |                                      | Sicurezza carico unitario di snervamento per scorrimento $j_s$                               | 1.0000  |                   |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| <input type="checkbox"/> Immettere sicurezze  |                                      | Coefficiente sicurezza (limite di fatica) $j_f$  | 1.5000  |                   |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| <input type="checkbox"/> Calcolare limite di fatica delle componenti con strato marginale rinforzato  |                                      | <input type="checkbox"/> Determinare la durezza a cuore della resistenza alla trazione $R_m$ |   |                   |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| <input type="checkbox"/> Fattore $K_f$ secondo le formule 4.3.2 e 4.3.3   |                                      |  |   |                   |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| <b>Dati generali</b>  |                                      |  |   |                   |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Trazione/compressione</th> <th>Flessione</th> <th>Torsione</th> <th>Forza trasversale</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sollecitazione</td> <td>Pulsante</td> <td>Alternato</td> <td>Pulsante</td> <td>Alternato</td> </tr> <tr> <td>Rapporto di sollecitazione</td> <td>0.0000</td> <td>-1.0000</td> <td>0.0000</td> <td>-1.0000</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente di carico, calcolo statico</td> <td>1.7000</td> <td>1.7000</td> <td>1.7000</td> <td>1.7000</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente di carico, calcolo resistenza a fatica</td> <td>1.0000</td> <td>1.0000</td> <td>1.0000</td> <td>1.0000</td> </tr> </tbody> </table> |                                      |  |   |                   | Trazione/compressione | Flessione | Torsione | Forza trasversale | Sollecitazione | Pulsante | Alternato | Pulsante | Alternato | Rapporto di sollecitazione | 0.0000 | -1.0000 | 0.0000 | -1.0000 | Coefficiente di carico, calcolo statico | 1.7000 | 1.7000 | 1.7000 | 1.7000 | Coefficiente di carico, calcolo resistenza a fatica | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
|   | Trazione/compressione                | Flessione  | Torsione  | Forza trasversale |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| Sollecitazione  | Pulsante                             | Alternato  | Pulsante  | Alternato         |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| Rapporto di sollecitazione  | 0.0000                               | -1.0000  | 0.0000  | -1.0000           |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| Coefficiente di carico, calcolo statico   | 1.7000                               | 1.7000   | 1.7000  | 1.7000            |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| Coefficiente di carico, calcolo resistenza a fatica   | 1.0000                               | 1.0000   | 1.0000  | 1.0000            |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |

Figura 139: Grandezze di dettaglio relative all'analisi dell'albero 4

Dal Report fornito dal software è possibile ottenere ulteriori informazioni di interesse sull'albero appena progettato.

#### Applicazione del carico

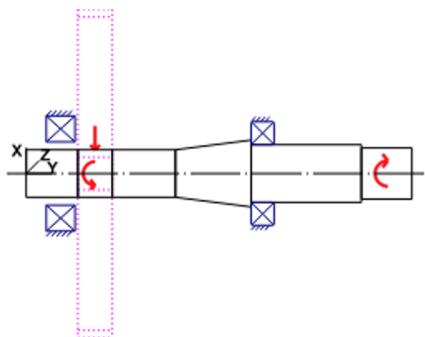


Figura 140: Applicazione del carico lungo l'albero 4

## Forze agenti sulle ruote

| 3.2.2 Accoppiamento (Utenza (lama))  |                        |                             |  |
|--|------------------------|-----------------------------|--|
| Posizione sull'albero (mm)   | [y <sub>local</sub> ]  | 315.0000                    |  |
| Posizione nel sistema globale (mm)   | [y <sub>global</sub> ] | 315.0000                    |  |
| Diametro effettivo (mm)  |                        | 0.0000                      |  |
| Fattore forza radiale (-)  |                        | 0.0000                      |  |
| Direzione della forza radiale (°)  |                        | 0.0000                      |  |
| Fattore forza assiale (-)  |                        | 0.0000                      |  |
| Lunghezza dell'applicazione della forza (mm)                                 |                        | 40.0000                     |  |
| Potenza (kW)   |                        | 7.3000 conduttrice (output) |  |
| Momento torcente (Nm)  |                        | -3030.8637                  |  |
| Forza assiale (N)  |                        | 0.0000                      |  |
| Forza trasversale X (N)  |                        | 0.0000                      |  |
| Forza trasversale Z (N)  |                        | 0.0000                      |  |
| Momento flettente X (Nm)   |                        | 0.0000                      |  |
| Massa (kg)   |                        | 0.0000                      |  |
| Momento d'inerzia di massa J <sub>p</sub> (kg <sup>2</sup> m <sup>2</sup> )  |                        | 0.0000                      |  |
| Momento d'inerzia di massa J <sub>xx</sub> (kg <sup>2</sup> m <sup>2</sup> ) |                        | 0.0000                      |  |
| Momento d'inerzia di massa J <sub>zz</sub> (kg <sup>2</sup> m <sup>2</sup> ) |                        | 0.0000                      |  |
| Eccentricità (mm)  |                        | 0.0000                      |  |

Figura 141: Valore delle forze trasmesse sull'albero 4

## Dettagli cuscinetti

| 3.3.1 Cuscinetto destra (SKF 6210)               |   | 3.3.2 Cuscinetto sinistra (INA SL182211-XL) |  |
|--|---|---|--|
| Forma strutturale cuscinetto                     | Cuscinetto radiale di sfere (a una fila) SKF Explorer | Forma strutturale cuscinetto                | Cuscinetto radiale di nulli cilindrici (ad una fila, pieni) X-life |
| Posizione cuscinetto (mm)                        | [y <sub>local</sub> ]                                 | 206.000                                     | 30.000   |
| Posizione cuscinetto (mm)                        | [y <sub>global</sub> ]                                | 206.000                                     | 30.000   |
| Fissaggio anello esterno                         | Cuscinetto fisso disposto a destra                    | Fissaggio anello esterno                    | Cuscinetto fisso   |
| Diametro interno (mm)                            | [d]   | 50.000                                      | 55.000   |
| Diametro esterno (mm)                            | [D]   | 90.000                                      | 100.000  |
| Larghezza (mm)                                   | [b]   | 20.000                                      | 25.000   |
| Raggio d'angolo (mm)                             | [r]   | 1.100                                       | 0.000  |
| Fattore di carico statico (kN)                   | [C <sub>0</sub> ]                                     | 23.200                                      | 148.000  |
| Fattore di carico dinamico (kN)                  | [C]   | 37.100                                      | 140.000  |
| Fattore di carico fatica (kN)                    | [C <sub>u</sub> ]                                     | 0.980                                       | 25.500   |
| Valori per la geometria approssimata:            |   | Valori per la geometria approssimata:       |  |
| Fattore di carico dinamico (kN)                  | [C <sub>red</sub> ]                                   | 0.000                                       | 0.000  |
| Fattore di carico statico (kN)                   | [C <sub>0red</sub> ]                                  | 0.000                                       | 0.000  |
| Fattore di correzione fattore di carico dinamico | [f <sub>c</sub> ]                                     | 1.000                                       | Fattore di correzione fattore di carico dinamico                   |
| Fattore di correzione fattore di carico statico  | [f <sub>c0</sub> ]                                    | 1.000                                       | [f <sub>c0</sub> ]   |

Figura 142: Valore delle forze trasmesse sull'albero 4

### Deformazione dell'albero

|  |         |
|--|---------|
| Inflessione massima ( $\mu\text{m}$ )  | 64.913  |
| Posizione del massimo (mm)   | 336.000 |
| Baricentro della massa (mm)  | 179.118 |
| Totale del carico assiale (N)  | 0.000   |
| Torsione dell'albero sotto momento torcente ( $^{\circ}$ )<br>(differenza estremità sinistra - destra dell'albero) | -1.136  |

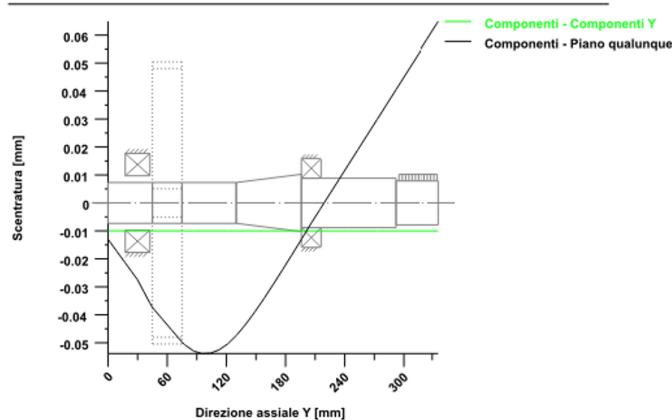
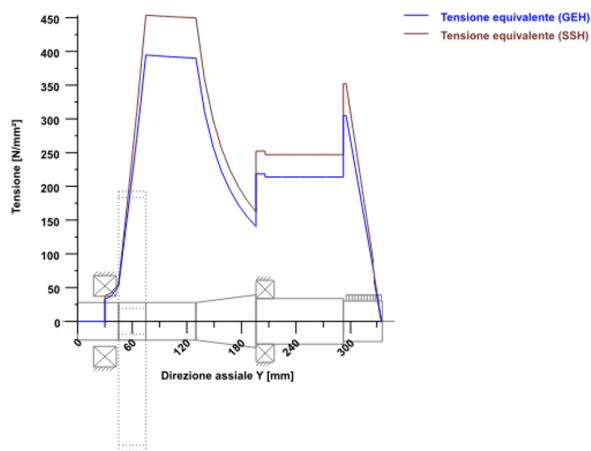


Figura 143: Deformata dell'albero 4

### Andamento della tensione equivalente



Tensioni nominali, senza considerazione della concentrazione di tensione  
 GEH(von Mises):  $\sigma_{eq} = ((\sigma_B + \sigma_Z)D)^2 + 3(\tau_T + \tau_S)^2)^{1/2}$   
 SSH(Tresca):  $\sigma_{eq} = ((\sigma_B - \sigma_Z)D)^2 + 4(\tau_T + \tau_S)^2)^{1/2}$

Figura 144: Andamento della tensione equivalente lungo l'albero 4

Infine, attraverso la compilazione del software si è osservato come tutte le sezioni fossero ampiamente verificate sia staticamente che a fatica.

|  |      |           |                          |             |
|--|------|-----------|--------------------------|-------------|
| <b>Risultati</b>                                       |      |           |                          |             |
| inflessione massima                                    |      |           | 64.91 $\mu\text{m}$      |             |
| tensione equivalente massima                           |      |           | 394.68 N/mm <sup>2</sup> |             |
| durata minima di vita del cuscinetto                   |      |           | 566501.42 h              |             |
| sicurezza statica minima del cuscinetto                |      |           | 5.95                     |             |
| sicurezza minima alla fatica                           |      |           | 1.33                     |             |
| sicurezza statica minima                               |      |           | 1.26                     |             |
| <b>Sicurezze</b>                                       |      |           | <b>Risultati [%]</b>     |             |
| Fatica   |      | statico   | Fatica                   |             |
| Raccordo destra  | 2.45 | 1.86      | 163.42                   | 124.05      |
| Gola cuscinetto destra                                 | 2.81 | 2.44      | 187.45                   | 162.37      |
| Raccordo cono  | 2.16 | 1.45      | 144.02                   | 96.67       |
| Fine profilo scanalato                                 | 1.33 | 1.26      | 88.99                    | 84.02       |
| <b>Calcolo in base a ISO 76, ISO 281, ISO/TS 16281</b> |      |           | <b>S0</b>                | <b>L10h</b> |
| <b>Risultati</b>                                       |      |           | 5.95                     | 624312 h    |
| Cuscinetto destra                                      |      |           | 7.80                     | 566501 h    |
| Cuscinetto sinistra                                    |      |           |                          |             |
| <b>Forza di reazione del cuscinetto</b>                |      |           | <b>Rxz</b>               |             |
| Cuscinetto destra                                      | F    | 1.446 kN  | 0.000 kN                 | 3.899 kN    |
|  | M    | 0.000 Nm  | 0.000 Nm                 | 0.000 Nm    |
| Cuscinetto sinistra                                    | F    | 7.040 kN  | 0.187 kN                 | 17.622 kN   |
|  | M    | -0.000 Nm | 0.000 Nm                 | -0.000 Nm   |

Figura 145: Risultato dell'analisi statica e a fatica delle sezioni di interesse dell'albero 4

**Albero 5** È stata individuata una sezione di interesse in corrispondenza dello spallamento.

| Denominazione | Y [mm] | Temperatura di eser | Numero di giri [1/mi] | Numero di giri      | Senso di rotazione  | Materiale     |
|---------------|--------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------|
| Albero 1      | 0.0000 | 20.0000             | 719.0000              | Dati base / Calcolo | in senso antiorario | 42 CrMo 4 (3) |

Figura 146: Albero 5

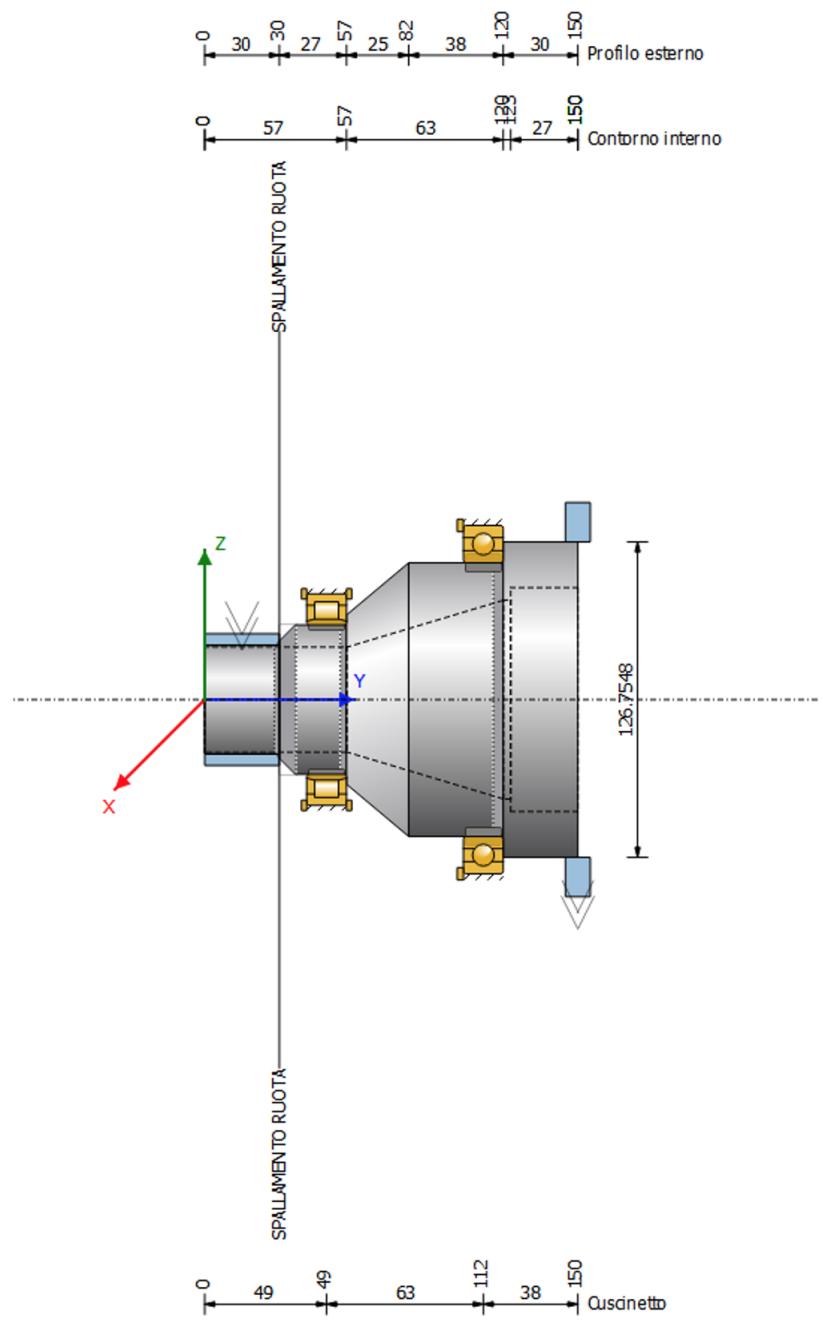


Figura 147: Layout Albero 5

Il cuscinetto sinistro inserito possiede le seguenti caratteristiche

|  |   |
|--|---|
| Denominazione                                  | SINISTRA  |
| Posizione sull'albero                          | y 49.0000 mm<br>Y 49.0000 mm                                |
| Posizione nel sistema globale                  |   |
| Tipo di cuscinetto                             | Cuscinetto bloccato regolato su entrambi i lati <->         |
| Costruzione                                    | Cuscinetto radiale di ruoli cilindrici (ad una fila, pieni) |
| Denominazione                                  | SKF NCF 2912 CV (d=60.000 mm, D=85.000 mm, B=16.000 mm)*    |
| Commento                                       | SKF Popular Item  |
| Diametro interno                               | d 60.000 mm   |
| Diametro esterno                               | D 85.000 mm   |
| Larghezza nominale                             | B 16.0000 mm  |
| Gioco  | Rigidezza/smorzamento Lubrificazione e calcoli addizionali  |
| Gioco  | DIN 620:1988 C0   |
| Spostamento dell'anello esterno in direzione X | $\delta_x$ 0.0000 mm  |
| Spostamento dell'anello esterno in direzione Y | $\delta_y$ 0.0000 mm  |
| Spostamento dell'anello esterno in direzione Z | $\delta_z$ 0.0000 mm  |

Figura 148: Caratteristiche cuscinetto sinistro relativo all'albero 5

mentre il cuscinetto destro

|  |  |
|--|--|
| Denominazione                                  | CENTRO   |
| Posizione sull'albero                          | y 112.0000 mm<br>Y 112.0000 mm                             |
| Posizione nel sistema globale                  |  |
| Tipo di cuscinetto                             | Cuscinetto bloccato regolato a sinistra <->                |
| Costruzione                                    | Cuscinetto radiale di sfere (a una fila)                   |
| Denominazione                                  | SKF 61822 (d=110.000 mm, D=140.000 mm, B=16.000 mm)*       |
| Commento                                       | SKF Popular Item   |
| Diametro interno                               | d 110.000 mm   |
| Diametro esterno                               | D 140.000 mm   |
| Larghezza nominale                             | B 16.0000 mm   |
| Gioco  | Rigidezza/smorzamento Lubrificazione e calcoli addizionali |
| Gioco  | ISO 5753-1:2009 C0   |
| Spostamento dell'anello esterno in direzione X | $\delta_x$ 0.0000 mm                                       |
| Spostamento dell'anello esterno in direzione Y | $\delta_y$ 0.0000 mm                                       |
| Spostamento dell'anello esterno in direzione Z | $\delta_z$ 0.0000 mm                                       |

Figura 149: Caratteristiche cuscinetto destro relativo all'albero 5

La ruota cilindrica calettata sull'albero 5 corrisponde alla ruota 7, ed è la ruota da cui entra la coppia. Le caratteristiche di questa ruota sono riportate di seguito.

|   |   |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Leggere i dati dal file            |   |
| <input type="checkbox"/> Considerare la matrice di rigidità |   |
| Denominazione   | Ruota cilindrica  |
| Posizione della ruota cilindrica sull'albero                | y <input type="text" value="15.0000"/> mm                                 |
| Posizione della ruota cilindrica nel sistema globale        | Y <input type="text" value="15.0000"/> mm                                 |
| <input type="checkbox"/> Ruote opposte multiple             |   |
| Posizione ingranamento                                      | $a_{pa}$ <input type="text" value="0.0000"/> °                            |
| Lunghezza dell'applicazione della forza                     | I <input type="text" value="30.0000"/> mm                                 |
| Diametro primitivo di funzionamento                         | d <sub>p</sub> <input type="text" value="48.8623"/> mm                    |
| Diametro interno (solo per rappresentazione)                | d <sub>i</sub> <input type="text" value="0.0000"/> mm                     |
| Angolo di pressione di funzionamento in sezione normale     | $\alpha_{sa}$ <input type="text" value="22.6150"/> °                      |
| Numero di denti (solo per presentazione)                    | z <input type="text" value="24"/>   |
| Elica   | dentatura diritta   |
| Angolo d'elica del cerchio primitivo di funzionamento       | $\beta_{se}$ <input type="text" value="0.0000"/> °                        |
| Potenza   | P <input type="text" value="5.0000"/> kW <input checked="" type="radio"/> |
| Momento torcente  | T <input type="text" value="66.4068"/> Nm <input type="radio"/>           |
| Direzione   | condotta (input)  |
| Spettro di carico   | Immissione propria  |

Figura 150: Dati della ruota 7 calettata sull'albero 5

L'elemento di output della coppia corrisponde all'accoppiamento motore.

|  |   |
|--|---|
| Denominazione  | Accoppiamento   |
| Centro di applicazione della forza sull'albero         | y <input type="text" value="150.0000"/> mm                                |
| Centro di applicazione della forza nel sistema globale | Y <input type="text" value="150.0000"/> mm                                |
| Lunghezza della applicazione della forza               | I <input type="text" value="10.0000"/> mm                                 |
| Diametro effettivo                                     | d <input type="text" value="0.0000"/> mm                                  |
| Fattore forza assiale                                  | F <sub>A</sub> <input type="text" value="0.0000"/>                        |
| Fattore forza radiale                                  | F <sub>R</sub> <input type="text" value="0.0000"/>                        |
| Direzione delle forze radiale                          | $\rho$ <input type="text" value="0.0000"/> °                              |
| Massa  | M <input type="text" value="0.0000"/> kg                                  |
| Potenza  | P <input type="text" value="5.0000"/> kW <input checked="" type="radio"/> |
| Momento torcente                                       | T <input type="text" value="66.4068"/> Nm <input type="radio"/>           |
| Direzione  | conduttrice (Output)  |
| Spettro di carico                                      | Sollecitazione carico unico   |

Figura 151: Dati dell'accoppiamento motore (in questo caso utilizzatore) calettato sull'albero 5

Sono state poi considerate le grandezze di dettaglio:

| Editor alberi   |  | Dati base   | Resistenza albero  | Report            |  |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
|---|--|---|--|-------------------|--|-----------------------|-----------|----------|-------------------|----------------|----------|-----------|----------|-----------|----------------------------|--------|---------|--------|---------|---|--------|--------|--------|--------|---|--------|--------|--------|--------|
| <b>Informazioni generali</b>  |  |   |  |                   |  |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| Spettri di carico   | Non considerare lo spettro di carico   |   |  |                   |  |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| Ruote dentate   | Ruote dentate considerate come massa e rigidezza                               |   |  |                   |  |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| Posizione asse albero nello spazio  | Indicare la forza del peso come vettore  |   |  |                   |  |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| Vettore   | x, y, z<br>0.0000 0.0000 -1.0000   |   |  |                   |  |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| Numeri frequenze proprie  | i 0  |   |  |                   |  |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| Numeri di pressoflessioni   | j 0  |   |  |                   |  |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| <b>Cuscinetti</b>   |  |   |  |                   |  |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| Cuscinetti  | Durata vita cuscinetti volventi, calcolo classico (ISO 281 e dati fabbricante) | <input type="checkbox"/> Calcolo durata modificata sec. ISO 281 |  |                   |  |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| Campo di tolleranze   | Valore medio   | Lubrificante  | Immissione propria   |                   |  |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| Temperatura lubrificante $T_s$ 70.0000 °C   |  |   |  |                   |  |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| <b>Scatola</b>  |  |   |  |                   |  |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| Materiale scatola   | Ac. da bonifica  | 42 CrMo 4 (3), nitratato  | Temperatura scatola  | $T_c$ 20.0000 °C  |  |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| Editor alberi   |  | Dati base   | Resistenza albero  | Report            |  |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| <b>Calcolo</b>  |  |   |  |                   |  |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| Metodo di calcolo   | DIN 743:2012   | Caso di sollecitazione  | Caso 2 (rapporto di sollecitazione costante $\sigma_u/\sigma_m$ ) 1.2000 |                   |  |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| Tipo di calcolo   | Resistente a fatica, vita illimitata   | Sicurezza richiesta, calcolo statico                            | $S_{min, static}$  | 1.2000            |  |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
|   |  | Sicurezza richiesta, calcolo resistenza a fatica                | $S_{min, fatigue}$   | 1.2000            |  |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| <b>Dati generali</b>  |  |   |  |                   |  |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Trazione/compressione</th> <th>Flessione</th> <th>Torsione</th> <th>Forza trasversale</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sollecitazione</td> <td>Pulsante</td> <td>Alternato</td> <td>Pulsante</td> <td>Alternato</td> </tr> <tr> <td>Rapporto di sollecitazione</td> <td>0.0000</td> <td>-1.0000</td> <td>0.0000</td> <td>-1.0000</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente di carico, calcolo statico</td> <td>1.7000</td> <td>1.7000</td> <td>1.7000</td> <td>1.7000</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente di carico, calcolo resistenza a fatica</td> <td>1.0000</td> <td>1.0000</td> <td>1.0000</td> <td>1.0000</td> </tr> </tbody> </table> |  |   |  |                   |  | Trazione/compressione | Flessione | Torsione | Forza trasversale | Sollecitazione | Pulsante | Alternato | Pulsante | Alternato | Rapporto di sollecitazione | 0.0000 | -1.0000 | 0.0000 | -1.0000 | Coefficiente di carico, calcolo statico | 1.7000 | 1.7000 | 1.7000 | 1.7000 | Coefficiente di carico, calcolo resistenza a fatica | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
|   | Trazione/compressione  | Flessione   | Torsione   | Forza trasversale |  |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| Sollecitazione  | Pulsante   | Alternato   | Pulsante   | Alternato         |  |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| Rapporto di sollecitazione  | 0.0000   | -1.0000   | 0.0000   | -1.0000           |  |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| Coefficiente di carico, calcolo statico   | 1.7000   | 1.7000  | 1.7000   | 1.7000            |  |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |
| Coefficiente di carico, calcolo resistenza a fatica   | 1.0000   | 1.0000  | 1.0000   | 1.0000            |  |                       |           |          |                   |                |          |           |          |           |                            |        |         |        |         |   |        |        |        |        |   |        |        |        |        |

Figura 152: Grandezze di dettaglio relative all'analisi dell'albero 5

Dal Report fornito dal software è possibile ottenere ulteriori informazioni di interesse sull'albero appena progettato.

#### *Applicazione del carico*

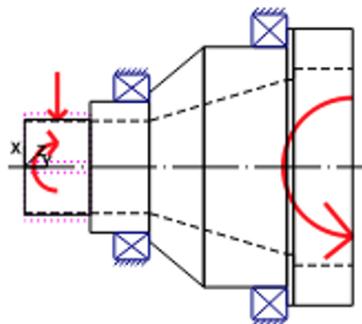


Figura 153: Applicazione del carico lungo l'albero 5

## Forze agenti sulle ruote

| 3.3.1 Ruota cilindrica (Ruota cilindrica)        |                         | 3.3.2 Accoppiamento (Accoppiamento)             |                             |
|--|-------------------------|---|-----------------------------|
| Posizione sull'albero (mm) [y <sub>base</sub> ]  | 15.0000                 | Posizione sull'albero (mm) [y <sub>base</sub> ] | 150.0000                    |
| Posizione nel sistema globale (mm)               | 15.0000                 | Posizione nel sistema globale (mm)              | 150.0000                    |
| Diametro primitivo di funzionamento (mm)         | 48.8823                 | Diametro effettivo (mm)                         | 0.0000                      |
| Dentatura diritta                                |                         | Fattore forza radiale (-)                       | 0.0000                      |
| Angolo di pressione normale in funzionamento (°) | 22.6150                 | Direzione della forza radiale (°)               | 0.0000                      |
| Posizione ingranamento (°)                       | 0.0000                  | Fattore forza assiale (-)                       | 0.0000                      |
| Lunghezza dell'applicazione della forza (mm)     | 30.0000                 | Lunghezza dell'applicazione della forza (mm)    | 10.0000                     |
| Potenza (kW)                                     | 5.0000 condotta (input) | Potenza (kW)                                    | 5.0000 conduttrice (output) |
| Momento torcente (Nm)                            | -66.4068                | Momento torcente (Nm)                           | 66.4068                     |
| Forza assiale (N)                                | 0.0000                  | Forza assiale (N)                               | 0.0000                      |
| Forza trasversale X (N)                          | -1132.2777              | Forza trasversale X (N)                         | 0.0000                      |
| Forza trasversale Z (N)                          | 2718.1211               | Forza trasversale Z (N)                         | 0.0000                      |
| Momento flettente X (Nm)                         | -0.0000                 | Momento flettente X (Nm)                        | 0.0000                      |
| Momento flettente Z (Nm)                         | 0.0000                  | Momento flettente Z (Nm)                        | 0.0000                      |

Figura 154: Valore delle forze trasmesse sull'albero 5

## Dettagli cuscinetti

| 3.4.1 SINISTRA (SKF NCF 2912 CV)                                   |   | 3.4.2 CENTRO (SKF 61822)   |  |
|--|---|--|--|
| Forma strutturale cuscinetto                                       | Cuscinetto radiale di rulli cilindrici (ad una fila, pieni) | Forma strutturale cuscinetto                                       | Cuscinetto radiale di sfere (a una fila) |
| Posizione cuscinetto (mm) [y <sub>base</sub> ]                     | 49.000  | Posizione cuscinetto (mm) [y <sub>base</sub> ]                     | 112.000                                  |
| Posizione cuscinetto (mm) [y <sub>globale</sub> ]                  | 49.000  | Posizione cuscinetto (mm) [y <sub>base</sub> ]                     | 112.000                                  |
| Fissaggio anello esterno   | Cuscinetto fisso  | Fissaggio cuscinetto disposto a sinistra                           |  |
| Diametro interno (mm) [d]  | 60.000  | Diametro interno (mm) [d]  | 110.000                                  |
| Diametro esterno (mm) [D]  | 85.000  | Diametro esterno (mm) [D]  | 140.000                                  |
| Larghezza (mm) [b]   | 16.000  | Larghezza (mm) [b]   | 16.000                                   |
| Raggio d'angolo (mm) [r]   | 1.000   | Raggio d'angolo (mm) [r]   | 1.000                                    |
| Fattore di carico statico (kN) [C <sub>s</sub> ]                   | 80.000  | Fattore di carico statico (kN) [C <sub>s</sub> ]                   | 26.000                                   |
| Fattore di carico dinamico (kN) [C]                                | 55.000  | Fattore di carico dinamico (kN) [C]                                | 28.100                                   |
| Fattore di carico fatico (kN) [C <sub>f</sub> ]                    | 9.200   | Fattore di carico fatico (kN) [C <sub>f</sub> ]                    | 1.300                                    |
| Valori per la geometria approssimata:                              |   | Valori per la geometria approssimata:                              |  |
| Fattore di carico dinamico (kN) [C <sub>iso</sub> ]                | 0.000   | Fattore di carico dinamico (kN) [C <sub>iso</sub> ]                | 0.000                                    |
| Fattore di carico statico (kN) [C <sub>iso</sub> ]                 | 0.000   | Fattore di carico statico (kN) [C <sub>iso</sub> ]                 | 0.000                                    |
| Fattore di correzione fattore di carico dinamico [f <sub>c</sub> ] | 1.000   | Fattore di correzione fattore di carico dinamico [f <sub>c</sub> ] | 1.000                                    |
| Fattore di correzione fattore di carico statico [f <sub>c</sub> ]  | 1.000   | Fattore di correzione fattore di carico statico [f <sub>c</sub> ]  | 1.000                                    |

Figura 155: Valore delle forze trasmesse sull'albero 5

### Deformazione dell'albero

|  |         |
|--|---------|
| Inflessione massima ( $\mu\text{m}$ )                      | 63.330  |
| Posizione del massimo (mm)                                 | 0.000   |
| Bericentro della massa (mm)                                | 101.953 |
| Totale del carico assiale (N)                              | 0.000   |
| Torsione dell'albero sotto momento torcente ( $^{\circ}$ ) | 0.005   |
| (differenza es tremità sinistra - destra dell'albero)      |         |

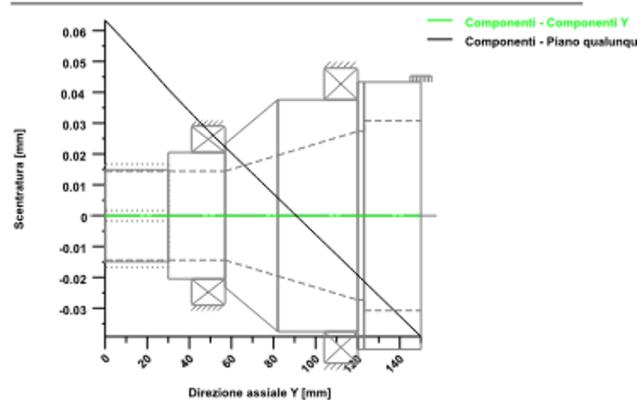
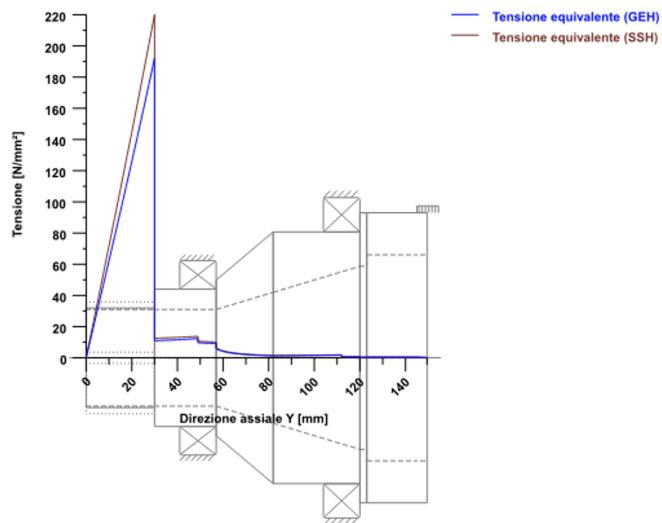


Figura 156: Deformata dell'albero 5

### Andamento della tensione equivalente



Tensioni nominali, senza considerazione della concentrazione di tensione  
 GEH(von Mises):  $\sigma_{eq} = \sqrt{(\sigma_B + \sigma_Z)^2 + 3(\tau_T + \tau_S)^2}$   
 SSH(Tresca):  $\sigma_{eq} = \sqrt{(\sigma_B - \sigma_Z)^2 + 4(\tau_T + \tau_S)^2}$

Figura 157: Andamento della tensione equivalente lungo l'albero 5

Infine, attraverso la compilazione del software si è osservato come la sezione fosse verificata sia staticamente che a fatica.

|  |                   |           |                          |             |
|--|-------------------|-----------|--------------------------|-------------|
| <b>Risultati</b>                                       |                   |           |                          |             |
| inflessione massima                                    |                   |           | 63.33 $\mu$ m            |             |
| tensione equivalente massima                           |                   |           | 192.27 N/mm <sup>2</sup> |             |
| durata minima di vita del cuscinetto                   |                   |           | 95666.33 h               |             |
| sicurezza statica minima del cuscinetto                |                   |           | 16.03                    |             |
| sicurezza minima alla fatica                           |                   |           | 3.31                     |             |
| sicurezza statica minima                               |                   |           | 4.49                     |             |
| <b>SPALLAMENTO RUOTA</b>                               | <b>Sicurezze</b>  |           | <b>Risultati [%]</b>     |             |
|  | Fatica            | statico   | Fatica                   | statico     |
|  | 3.31              | 4.49      | 275.94                   | 373.92      |
| <b>Calcolo in base a ISO 76, ISO 281, ISO/TS 16281</b> |                   |           |                          |             |
| <b>Risultati</b>                                       |                   |           | <b>S0</b>                | <b>L10h</b> |
| SINISTRA   |                   |           | 17.68                    | 95666 h     |
| CENTRO   |                   |           | 16.03                    | 120564 h    |
| <b>Forza di reazione del cuscinetto</b>                | <b>Componenti</b> | <b>X</b>  | <b>Z</b>                 | <b>Rxz</b>  |
| SINISTRA   | F                 | 1.743 kN  | 0.000 kN                 | 4.526 kN    |
|  | M                 | 0.000 Nm  | 0.000 Nm                 | 0.000 Nm    |
| CENTRO   | F                 | -0.611 kN | 0.000 kN                 | 1.622 kN    |
|  | M                 | 0.000 Nm  | 0.000 Nm                 | 0.000 Nm    |

Figura 158: Risultato dell’analisi statica e a fatica delle sezioni di interesse dell’albero 5

## 5 Scelta cusinetti

La scelta e la verifica del cuscinetto si basa sul calcolo delle pressioni di contatto che si generano durante il funzionamento tra i corpi volventi e le piste. Se la pressione calcolata dovesse risultare troppo elevata, allora questo potrebbe portare al danneggiamento del cuscinetto stesso, compromettendone il funzionamento.

La scelta e la verifica dei cuscinetti è stata effettuata mediante software KissSoft, durante la progettazione dei singoli alberi.

Di seguito si riportano le caratteristiche geometriche relative a ogni cuscinetto scelto.

**Cuscinetti albero 1 (input)** Per il primo albero vengono utilizzati due cuscinetti radiali a sfere 6210.

**SKF** Generated from www.skf.com on 2022-03-01

**6210**  
- Popular item  
- SKF Explorer

**Deep groove ball bearings**

**Bearing data**  
Tolerances, Normal (metric), P6, P5, Normal (inch), Radial internal clearance, Matched bearing pairs, Stainless steel d < 10 mm, Other bearings

**Bearing interfaces**  
Seat tolerances for standard conditions, Tolerances and resultant fits

**Technical specification**

**DIMENSIONS**

|                  |             |                   |
|------------------|-------------|-------------------|
| d                | 50 mm       | Bore diameter     |
| D                | 90 mm       | Outside diameter  |
| B                | 20 mm       | Width             |
| d <sub>1</sub>   | ≈ 62.51 mm  | Shoulder diameter |
| D <sub>2</sub>   | ≈ 81.61 mm  | Recess diameter   |
| r <sub>1,2</sub> | min. 1.1 mm | Chamfer dimension |

**ABUTMENT DIMENSIONS**

|                           |                                   |
|---------------------------|-----------------------------------|
| d <sub>a</sub> min. 57 mm | Diameter of shaft abutment        |
| D <sub>a</sub> max. 83 mm | Diameter of housing abutment      |
| r <sub>a</sub> max. 1 mm  | Radius of shaft or housing fillet |

Figura 159: Caratteristiche tecniche dei cuscinetti montati sull'albero 1

## CALCULATION DATA

|                           |       |              |
|---------------------------|-------|--------------|
| Basic dynamic load rating | $C$   | 37.1 kN      |
| Basic static load rating  | $C_0$ | 23.2 kN      |
| Fatigue load limit        | $P_u$ | 0.98 kN      |
| Reference speed           |       | 15 000 r/min |
| Limiting speed            |       | 10 000 r/min |
| Minimum load factor       | $k_r$ | 0.025        |
| Calculation factor        | $f_0$ | 14.4         |

## MASS

|              |         |
|--------------|---------|
| Mass bearing | 0.46 kg |
|--------------|---------|

Figura 160: Altre caratteristiche tecniche dei cuscinetti montati sull'albero 1

Dalla progettazione degli alberi con il software KissSoft sono stati ottenuti i seguenti risultati per i cuscinetti.

|  |                     |          |
|--|---------------------|----------|
| Probabilità di guasto  | [n]                 | 10.00 %  |
| Gioco assiale (ISO 281)  | [u <sub>a</sub> ]   | 10.00 μm |
| Lubrificante   | Spirax S3 AX 80W-90 |          |
| Temperatura di esercizio del lubrificante  | [T <sub>e</sub> ]   | 70.00 °C |
| Cuscinetti volventi: calcolo della durata secondo ISO/TS 281, la rigidezza è calcolata dalla geometria interna del cuscinetto:2008 |                     |          |

Figura 161: Alcuni dati notevoli riguardanti i cuscinetti dell'albero 1

Cuscinetto a sfere di sinistra.

|  |                                      |          |
|--|--------------------------------------|----------|
| Posizione (Coordinata Y)                               | [y]                                  | 30.90 mm |
| Sollecitazione equivalente dal punto di vista dinamico | [P]                                  | 1.30kN   |
| Carico statico equivalente                             | [P <sub>0</sub> ]                    | 1.30 kN  |
| Spessore minimo dello strato lubrificante EHL          | [h <sub>min</sub> ]                  | 0.067 μm |
| Velocità di perforazione e di rotolamento              | [ω <sub>s</sub> /ω <sub>roll</sub> ] | 0.057    |
| Fattore probabilità di guasto                          | [a <sub>i</sub> ]                    | 1.000    |

### 5.3.1 Risultati per ISO 281

|                                   |                     |
|-----------------------------------|---------------------|
| Lubrificante                      | Spirax S3 AX 80W-90 |
| Fattore di carico                 | [C/P]               |
| Viscosità di servizio             | [v]                 |
| Viscosità di riferimento          | [v <sub>r</sub> ]   |
| Rapporto di viscosità             | [κ]                 |
| Vita utile nominale cuscinetto    | [L <sub>n</sub> ]   |
| Coefficiente di sicurezza statica | [S <sub>0</sub> ]   |

Figura 162: Risultati del cuscinetto a sinistra dell'albero 1

Cuscinetto a sfere di destra.

|  |                          |                     |          |
|--|--------------------------|---------------------|----------|
| Posizione (Coordinata Y)                               | [y]                      | 183.90              | mm       |
| Sollecitazione equivalente dal punto di vista dinamico | [P]                      | 5.05kN              |          |
| Carico statico equivalente                             | [P <sub>0</sub> ]        | 5.05                | kN       |
| Spessore minimo dello strato lubrificante EHL          |                          | [h <sub>min</sub> ] | 0.060 µm |
| Velocità di perforazione e di rotolamento              | [ω <sub>s/ω_roll</sub> ] | 0.056               |          |
| Fattore probabilità di guasto                          | [a <sub>i</sub> ]        | 1.000               |          |

#### 5.4.1 Risultati per ISO 281

|                                   |                     |
|-----------------------------------|---------------------|
| Lubrificante                      | Spirax S3 AX 80W-90 |
| Fattore di carico                 | [C/P]               |
| Viscosità di servizio             | [ν]                 |
| Viscosità di riferimento          | [ν <sub>1</sub> ]   |
| Rapporto di viscosità             | [κ]                 |
| Vita utile nominale cuscinetto    | [L <sub>ref</sub> ] |
| Coefficiente di sicurezza statica | [S <sub>0</sub> ]   |

Figura 163: Risultati del cuscinetto di destra dell’albero 1

In conclusione.

| Calcolo in base a ISO 76, ISO 281, ISO/TS 16281 |            |             |             |                        |           |
|---|------------|-------------|-------------|------------------------|-----------|
| Risultati                                       | S0         | L10h        | Lnrh        | pmax_i                 |           |
| Cuscinetto sinistra (a sfere)                   | 17.80      | > 1000000 h | > 1000000 h | 1491 N/mm <sup>2</sup> |           |
| Cuscinetto destra                               | 4.59       | 21173 h     | 21074 h     | 2421 N/mm <sup>2</sup> |           |
| Forza di reazione del cuscinetto                | Componenti | X           | Y           | Z                      | Rxz       |
| Cuscinetto sinistra (a sfere)                   | F          | 0.013 kN    | -0.297 kN   | 1.303 kN               | 1.304 kN  |
|   | M          | -7.667 Nm   | 0.000 Nm    | -0.171 Nm              | 7.669 Nm  |
| Cuscinetto destra                               | F          | 1.695 kN    | -1.122 kN   | 4.758 kN               | 5.051 kN  |
|   | M          | -29.093 Nm  | 0.000 Nm    | 10.080 Nm              | 30.790 Nm |

Figura 164: Risultati complessivi dei cuscinetti per quanto riguarda l’albero 1

**Cuscinetti albero 2** Per il secondo albero vengono utilizzati:

- Cuscinetto radiale a rulli NUP 208 ECJ (lato ruota 1);
- Cuscinetto a rulli conici contrapposti ad “o” 30212T53/DB (lato ruota 2)



## NU 208 ECJ

- Popular item

- SKF Explorer

### Cylindrical roller bearings, single row

#### Bearing data

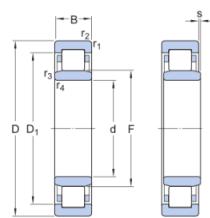
**Tolerances,**  
Normal (metric), P6, Normal (inch),  
**Radial internal clearance,**  
cylindrical bore, tapered bore,  
**Axial internal clearance,**  
NUP, NJ + HJ

#### Bearing interfaces

**Seat tolerances for standard conditions,**  
**Tolerances and resultant fit**

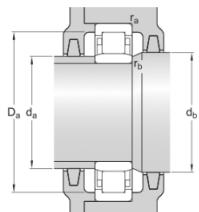
### Technical specification

#### DIMENSIONS



|                  |             |  |
|------------------|-------------|--|
| d                | 40 mm       | Bore diameter                          |
| D                | 80 mm       | Outside diameter                       |
| B                | 18 mm       | Width                                  |
| D <sub>1</sub>   | ≈ 67.4 mm   | Shoulder diameter of outer ring        |
| F                | 49.5 mm     | Chamfer dimension of loose flange ring |
| r <sub>1,i</sub> | min. 1.1 mm | Chamfer dimension                      |
| r <sub>3,i</sub> | min. 1.1 mm | Chamfer dimension                      |
| s                | max. 1.4 mm | Permissible axial displacement         |

#### ABUTMENT DIMENSIONS



|                |              |                              |
|----------------|--------------|------------------------------|
| d <sub>a</sub> | min. 47 mm   | Diameter of spacer sleeve    |
| d <sub>a</sub> | max. 48 mm   | Diameter of spacer sleeve    |
| d <sub>b</sub> | min. 51 mm   | Diameter of shaft abutment   |
| D <sub>i</sub> | max. 72.8 mm | Diameter of housing abutment |
| r <sub>a</sub> | max. 1 mm    | Radius of fillet             |
| r <sub>b</sub> | max. 1 mm    | Radius of fillet             |

Figura 165: Caratteristiche tecniche dei cuscinetti montati sull'albero 2

#### CALCULATION DATA

|                           |          |              |
|---------------------------|----------|--------------|
| Basic dynamic load rating | $C$      | 62 kN        |
| Basic static load rating  | $C_0$    | 53 kN        |
| Fatigue load limit        | $P_u$    | 6.7 kN       |
| Reference speed           |          | 9 500 r/min  |
| Limiting speed            |          | 11 000 r/min |
| Minimum load factor       | $k_r$    | 0.15         |
| Limiting value            | $e$      | 0.2          |
| Axial load factor         | $\gamma$ | 0.6          |

#### MASS

|      |         |
|------|---------|
| Mass | 0.38 kg |
|------|---------|

Figura 166: Altre caratteristiche tecniche dei cuscinetti montati sull'albero 1



## 30212T53/DB

- SKF Explorer

Tapered roller bearings, single row,  
matched back-to-back

### Bearing data

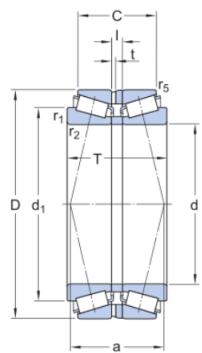
[Tolerances](#),  
Normal + CL7C, P5, total width,  
[Internal clearance](#),  
values

### Bearing interfaces

[Seat tolerances for standard conditions](#),  
[Tolerances and resultant fit](#)

## Technical specification

### DIMENSIONS

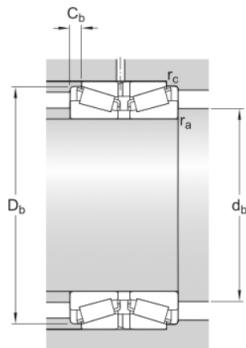


|                  |             |  |
|------------------|-------------|--|
| d                | 60 mm       | Bore diameter  |
| D                | 110 mm      | Outside diameter   |
| T                | 53 mm       | Total bearing width  |
| d <sub>1</sub>   | ≈ 80.9 mm   | Shoulder diameter inner ring                               |
| C                | 43.5 mm     | Total outer rings width including intermediate ring        |
| l                | 5.5 mm      | Width spacer ring  |
| t                | 2 mm        | Depth of lubrication groove side face (RDL01 < 7)          |
| r <sub>1,i</sub> | min. 2 mm   | Corner radius inner ring                                   |
| r <sub>5</sub>   | min. 0.6 mm | Chamfer dimension on the small side face of the outer ring |
| a                | 48.562 mm   | Distance pressure points                                   |

### ABUTMENT DIMENSIONS

|                |             |                         |
|----------------|-------------|-------------------------|
| d <sub>b</sub> | min. 70 mm  | Abutment diameter shaft |
| D <sub>b</sub> | min. 103 mm | Abutment diameter shaft |

Figura 167: Caratteristiche tecniche dei cuscinetti montati sull'albero 2



|       |             |   |
|-------|-------------|---|
| $C_b$ | min. 4.5 mm | Abutment housing - axial space at the small side face/ both sides of the outer ring |
| $r_a$ | max. 2 mm   | Fillet radius   |
| $r_c$ | max. 0.6 mm | Fillet radius   |

#### CALCULATION DATA

|                           |            |             |
|---------------------------|------------|-------------|
| Basic dynamic load rating | $C$        | 207 kN      |
| Basic static load rating  | $C_0$      | 228 kN      |
| Fatigue load limit        | $P_u$      | 26.5 kN     |
| Reference speed           |            | 4 000 r/min |
| Limiting speed            |            | 6 000 r/min |
| Calculation factor        | $e$        | 0.4         |
| Calculation factor        | $\gamma_1$ | 1.7         |
| Calculation factor        | $\gamma_2$ | 2.5         |
| Calculation factor        | $\gamma_0$ | 1.6         |

#### MASS

|                   |        |
|-------------------|--------|
| Mass bearing pair | 1.9 kg |
|-------------------|--------|

Figura 168: Altre caratteristiche tecniche dei cuscinetti montati sull'albero 2

Dalla progettazione degli alberi con il software KissSoft sono stati ottenuti i seguenti risultati per i cuscinetti.

|   |                     |         |                          |
|---|---------------------|---------|--------------------------|
| Probabilità di guasto   | $[n]$               | 10.00 % |                          |
| Gioco assiale (ISO 281)   | $[u_a]$             |         | 10.00 $\mu\text{m}$      |
| Lubrificante  | Spirax S3 AX 80W-90 |         |                          |
| Temperatura di esercizio del lubrificante   |                     | $[T_E]$ | 70.00 $^{\circ}\text{C}$ |
| Cuscinetti volventi: calcolo classico della durata secondo ISO 281, considerando l'angolo di contatto |                     |         |                          |

Figura 169: Alcuni dati notevoli riguardanti i cuscinetti dell'albero 2

Cuscinetto a rulli di sinistra.

|  |                   |        |    |
|--|-------------------|--------|----|
| Posizione (Coordinata Y)                               | [y]               | 60.00  | mm |
| Sollecitazione equivalente dal punto di vista dinamico | [P]               | 9.49kN |    |
| Carico statico equivalente                             | [P <sub>0</sub> ] | 9.49   | kN |
| Fattore probabilità di guasto                          | [a <sub>i</sub> ] | 1.000  |    |

#### 5.3.1 Risultati per ISO 281

|                                   |                     |           |                    |
|-----------------------------------|---------------------|-----------|--------------------|
| Lubrificante                      | Spirax S3 AX 80W-90 |           |                    |
| Fattore di carico                 | [C/P]               | 17.288    |                    |
| Viscosità di servizio             | [v]                 | 43.319    | mm <sup>2</sup> /s |
| Viscosità di riferimento          | [v <sub>r</sub> ]   | 0.000     | mm <sup>2</sup> /s |
| Rapporto di viscosità             | [K]                 | 0.000     |                    |
| Vita utile nominale cuscinetto    | [L <sub>nh</sub> ]  | 845835.61 | h                  |
| Coefficiente di sicurezza statica | [S <sub>0</sub> ]   | 19.29     |                    |

Figura 170: Risultati del cuscinetto a sinistra dell'albero 2

Cuscinetto a rulli di destra.

|  |                   |        |    |
|--|-------------------|--------|----|
| Posizione (Coordinata Y)                               | [y]               | 493.50 | mm |
| Sollecitazione equivalente dal punto di vista dinamico | [P]               | 7.51kN |    |
| Carico statico equivalente                             | [P <sub>0</sub> ] | 7.51   | kN |
| Fattore probabilità di guasto                          | [a <sub>i</sub> ] | 1.000  |    |

#### 5.4.1 Risultati per ISO 281

|                                   |                     |           |                    |
|-----------------------------------|---------------------|-----------|--------------------|
| Lubrificante                      | Spirax S3 AX 80W-90 |           |                    |
| Fattore di carico                 | [C/P]               | 12.908    |                    |
| Viscosità di servizio             | [v]                 | 43.319    | mm <sup>2</sup> /s |
| Viscosità di riferimento          | [v <sub>r</sub> ]   | 0.000     | mm <sup>2</sup> /s |
| Rapporto di viscosità             | [K]                 | 0.000     |                    |
| Vita utile nominale cuscinetto    | [L <sub>nh</sub> ]  | 319441.51 | h                  |
| Coefficiente di sicurezza statica | [S <sub>0</sub> ]   | 12.11     |                    |

Figura 171: Risultati del cuscinetto di destra dell'albero 2

In conclusione.

| Calcolo in base a ISO 76, ISO 281, ISO/TS 16281 |            | Risultati |           |
|---|------------|-----------|-----------|
| Cuscinetto sinistra                             |            | S0        | L10h      |
| Cuscinetto destra                               |            | 19.29     | 845836 h  |
| Forza di reazione del cuscinetto                |            | 12.11     | 319442 h  |
| Cuscinetto sinistra                             | Componenti | X         | Z         |
|   | F          | 2.757 kN  | 0.077 kN  |
|   | M          | -0.000 Nm | 0.000 Nm  |
| Cuscinetto destra                               |            | Y         | Rxx       |
|   | F          | 1.195 kN  | -7.419 kN |
|   | M          | -0.000 Nm | 0.000 Nm  |
|   |            | Z         |           |
|   |            | 0.536 kN  | 7.514 kN  |
|   |            | 0.000 Nm  | 0.000 Nm  |

Figura 172: Risultati complessivi dei cuscinetti per quanto riguarda l'albero 2

**Cuscinetti albero 3** Per il terzo albero sono stati utilizzati 2 cuscinetti radiali a rulli conici 30207.



## 30207

- Popular item  
- SKF Explorer

### Tapered roller bearings, single row

#### Bearing data

[Tolerances](#),  
Normal and CL7C, CLN, Normal and  
CL, deviating width

#### Bearing interfaces

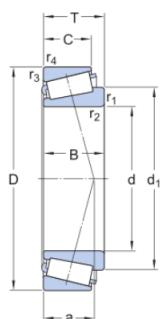
[Seat tolerances for standard  
conditions](#),  
[Tolerances and resultant fit](#)

### Technical specification

Dimension series

3DB

### DIMENSIONS

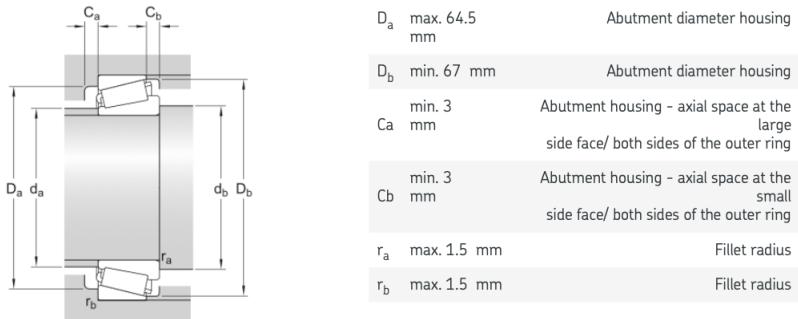


|           |                    |                              |
|-----------|--------------------|------------------------------|
| d         | 35 mm              | Bore diameter                |
| D         | 72 mm              | Outside diameter             |
| T         | 18.25 mm           | Total bearing width          |
| $d_1$     | $\approx 51.95$ mm | Inner ring shoulder diameter |
| B         | 17 mm              | Width inner ring             |
| C         | 15 mm              | Width outer ring             |
| $r_{1,2}$ | min. 1.5 mm        | Corner radius inner ring     |
| $r_{3,4}$ | min. 1.5 mm        | Corner radius outer ring     |
| a         | 14.95 mm           | Distance pressure point      |

### ABUTMENT DIMENSIONS

|       |              |                           |
|-------|--------------|---------------------------|
| $d_a$ | max. 44 mm   | Abutment diameter shaft   |
| $d_b$ | min. 43.5 mm | Abutment diameter shaft   |
| $D_a$ | min. 62 mm   | Abutment diameter housing |

Figura 173: Caratteristiche tecniche dei cuscinetti montati sull'albero 3



#### CALCULATION DATA

|                           |       |             |
|---------------------------|-------|-------------|
| Basic dynamic load rating | $C$   | 63.2 kN     |
| Basic static load rating  | $C_0$ | 56 kN       |
| Fatigue load limit        | $P_u$ | 6.1 kN      |
| Reference speed           |       | 8 000 r/min |
| Limiting speed            |       | 9 500 r/min |
| Calculation factor        | $e$   | 0.37        |
| Calculation factor        | $Y$   | 1.6         |
| Calculation factor        | $Y_0$ | 0.9         |

#### MASS

|              |         |
|--------------|---------|
| Mass bearing | 0.33 kg |
|--------------|---------|

Figura 174: Altre caratteristiche tecniche dei cuscinetti montati sull'albero 3

Dalla progettazione degli alberi con il software KissSoft sono stati ottenuti i seguenti risultati per i cuscinetti.

|  |                     |          |
|--|---------------------|----------|
| Probabilità di guasto  | [n]                 | 10.00 %  |
| Gioco assiale (ISO 281)  | [u <sub>A</sub> ]   | 10.00 μm |
| Lubrificante   | SPIRAX S3 AX 80W-90 |          |
| Temperatura di esercizio del lubrificante  | [T <sub>E</sub> ]   | 70.00 °C |
| Cuscinetti volventi: calcolo della durata secondo ISO/TS 281, la rigidezza è calcolata dalla geometria interna del cuscinetto:2008 |                     |          |

Figura 175: Alcuni dati notevoli riguardanti i cuscinetti dell'albero 3

### Step 1

Cuscinetto a rulli in basso.

|  |                   |                     |          |
|--|-------------------|---------------------|----------|
| Posizione (Coordinata Y)                               | [y]               | 11.00               | mm       |
| Sollecitazione equivalente dal punto di vista dinamico | [P]               | 6.14kN              |          |
| Carico statico equivalente                             | [P <sub>0</sub> ] | 6.14                | kN       |
| Spessore minimo dello strato lubrificante EHL          |                   | [h <sub>min</sub> ] | 0.026 μm |

Fattore probabilità di guasto [a<sub>i</sub>] 1.000

#### 5.3.1 Risultati per ISO 281

|                                   |                     |                           |
|-----------------------------------|---------------------|---------------------------|
| Lubrificante                      | SPIRAX S3 AX 80W-90 |                           |
| Fattore di carico                 | [C/P]               |                           |
| Viscosità di servizio             | [v]                 | 10.285                    |
| Viscosità di riferimento          | [v <sub>r</sub> ]   | 43.319 mm <sup>2</sup> /s |
| Rapporto di viscosità             | [k]                 | 0.000                     |
| Vita utile nominale cuscinetto    | [L <sub>n</sub> ]   | 331198.52 h               |
| Coefficiente di sicurezza statica | [S <sub>0</sub> ]   | 9.11                      |

Figura 176: Risultati del cuscinetto in basso dell'albero 3

Cuscinetto a rulli in alto.

|  |                   |                     |          |
|--|-------------------|---------------------|----------|
| Posizione (Coordinata Y)                               | [y]               | 149.12              | mm       |
| Sollecitazione equivalente dal punto di vista dinamico | [P]               | 11.22kN             |          |
| Carico statico equivalente                             | [P <sub>0</sub> ] | 11.22               | kN       |
| Spessore minimo dello strato lubrificante EHL          |                   | [h <sub>min</sub> ] | 0.025 μm |

Fattore probabilità di guasto [a<sub>i</sub>] 1.000

#### 5.4.1 Risultati per ISO 281

|                                   |                     |                           |
|-----------------------------------|---------------------|---------------------------|
| Lubrificante                      | SPIRAX S3 AX 80W-90 |                           |
| Fattore di carico                 | [C/P]               | 5.633                     |
| Viscosità di servizio             | [v]                 | 43.319 mm <sup>2</sup> /s |
| Viscosità di riferimento          | [v <sub>r</sub> ]   | 0.000 mm <sup>2</sup> /s  |
| Rapporto di viscosità             | [k]                 | 0.000                     |
| Vita utile nominale cuscinetto    | [L <sub>n</sub> ]   | 44504.95 h                |
| Coefficiente di sicurezza statica | [S <sub>0</sub> ]   | 4.99                      |

Figura 177: Risultati del cuscinetto in alto dell'albero 3

In conclusione.

| Calcolo in base a ISO 76, ISO 281, ISO/TS 16281 |            |            |           |            |                        |
|---|------------|------------|-----------|------------|------------------------|
| Risultati                                       |            |            |           |            |                        |
| Cuscinetto a rotolamento 1                      |            | S0         | L10h      | Lnrh       | pmax_i                 |
| Cuscinetto a rotolamento 2                      |            | 9.11       | 331199 h  | 858090 h   | 1595 N/mm <sup>2</sup> |
|   |            | 4.99       | 44505 h   | 162368 h   | 1848 N/mm <sup>2</sup> |
| Forza di reazione del cuscinetto                | Componenti | X          | Y         | Z          | Rxz                    |
| Cuscinetto a rotolamento 1                      | F          | 3.582 kN   | 1.753 kN  | -4.993 kN  | 6.145 kN               |
|   | M          | -35.143 Nm | 0.000 Nm  | -25.248 Nm | 43.273 Nm              |
| Cuscinetto a rotolamento 2                      | F          | 6.024 kN   | -3.880 kN | -9.466 kN  | 11.220 kN              |
|   | M          | 66.187 Nm  | 0.000 Nm  | 42.206 Nm  | 78.498 Nm              |

Figura 178: Risultati complessivi dei cuscinetti nello step 1 per quanto riguarda l'albero 3

## Step 2

Cuscinetto a rulli in basso.

|  |                   |        |                     |          |
|--|-------------------|--------|---------------------|----------|
| Posizione (Coordinata Y)                               | [y]               | 11.00  | mm                  |          |
| Sollecitazione equivalente dal punto di vista dinamico | [P]               | 1.81kN |                     |          |
| Carico statico equivalente                             | [P <sub>0</sub> ] |        |                     | 1.81 kN  |
| Spessore minimo dello strato lubrificante EHL          |                   |        | [h <sub>min</sub> ] | 0.030 μm |
| Fattore probabilità di guasto                          | [a <sub>i</sub> ] |        |                     | 1.000    |

### 5.3.1 Risultati per ISO 281

|                                   |                     |           |                    |  |
|-----------------------------------|---------------------|-----------|--------------------|--|
| Lubrificante                      | SPIRAX S3 AX 80W-90 |           |                    |  |
| Fattore di carico                 | [C/P]               | 34.968    |                    |  |
| Viscosità di servizio             | [v]                 | 43.319    | mm <sup>2</sup> /s |  |
| Viscosità di riferimento          | [v <sub>r</sub> ]   | 0.000     | mm <sup>2</sup> /s |  |
| Rapporto di viscosità             | [K]                 | 0.000     |                    |  |
| Vita utile nominale cuscinetto    | [L <sub>nh</sub> ]  | > 1000000 | h                  |  |
| Coefficiente di sicurezza statica | [S <sub>0</sub> ]   | 30.98     |                    |  |

Figura 179: Risultati del cuscinetto in basso dell'albero 3

Cuscinetto a rulli in alto.

|  |                   |        |                     |          |
|--|-------------------|--------|---------------------|----------|
| Posizione (Coordinata Y)                               | [y]               | 149.12 | mm                  |          |
| Sollecitazione equivalente dal punto di vista dinamico | [P]               | 7.35kN |                     |          |
| Carico statico equivalente                             | [P <sub>0</sub> ] | 7.00   | kN                  |          |
| Spessore minimo dello strato lubrificante EHL          |                   |        | [h <sub>min</sub> ] | 0.026 μm |
| Fattore probabilità di guasto                          | [a <sub>i</sub> ] | 1.000  |                     |          |

### 5.4.1 Risultati per ISO 281

|                                   |                     |           |                    |  |
|-----------------------------------|---------------------|-----------|--------------------|--|
| Lubrificante                      | SPIRAX S3 AX 80W-90 |           |                    |  |
| Fattore di carico                 | [C/P]               | 8.598     |                    |  |
| Viscosità di servizio             | [v]                 | 43.319    | mm <sup>2</sup> /s |  |
| Viscosità di riferimento          | [v <sub>r</sub> ]   | 0.000     | mm <sup>2</sup> /s |  |
| Rapporto di viscosità             | [K]                 | 0.000     |                    |  |
| Vita utile nominale cuscinetto    | [L <sub>nh</sub> ]  | 182243.58 | h                  |  |
| Coefficiente di sicurezza statica | [S <sub>0</sub> ]   | 7.99      |                    |  |

Figura 180: Risultati del cuscinetto in alto dell'albero 3

In conclusione.

| Calcolo in base a ISO 76, ISO 281, ISO/TS 16281 |            | S <sub>0</sub> | L <sub>10h</sub> | L <sub>nrb</sub> | p <sub>max_i</sub>          |
|---|------------|----------------|------------------|------------------|-----------------------------|
| <b>Risultati</b>                                |            |                |                  |                  |                             |
| Cuscinetto a rotolamento 1                      |            | 30.98          | > 1000000 h      | > 1000000 h      | 1056 N/mm <sup>2</sup>      |
| Cuscinetto a rotolamento 2                      |            | 7.99           | 182244 h         | 731815 h         | 1529 N/mm <sup>2</sup>      |
| Forza di reazione del cuscinetto                | Componenti | X              | Y                | Z                |                             |
| Cuscinetto a rotolamento 1                      | F          | 1.179 kN       | 0.494 kN         | 1.370 kN         | R <sub>xz</sub><br>1.007 kN |
|   | M          | 9.342 Nm       | 0.000 Nm         | -8.129 Nm        | 12.383 Nm                   |
| Cuscinetto a rotolamento 2                      | F          | 4.551 kN       | -2.643 kN        | -5.325 kN        | 7.005 kN                    |
|   | M          | 36.244 Nm      | 0.000 Nm         | 31.761 Nm        | 48.191 Nm                   |

Figura 181: Risultati complessivi dei cuscinetti nello step 2 per quanto riguarda l'albero 3

### Step 3

Cuscinetto a rulli in basso.

|  |                   |                     |          |
|--|-------------------|---------------------|----------|
| Posizione (Coordinata Y)                               | [y]               | 11.00               | mm       |
| Sollecitazione equivalente dal punto di vista dinamico | [P]               | 0.95kN              |          |
| Carico statico equivalente                             | [P <sub>0</sub> ] | 0.95                | kN       |
| Spessore minimo dello strato lubrificante EHL          |                   | [h <sub>min</sub> ] | 0.033 μm |
| Fattore probabilità di guasto                          | [a <sub>i</sub> ] | 1.000               |          |

#### 5.3.1 Risultati per ISO 281

|                                   |                     |
|-----------------------------------|---------------------|
| Lubrificante                      | SPIRAX S3 AX 80W-90 |
| Fattore di carico                 | [C/P]               |
| Viscosità di servizio             | [v]                 |
| Viscosità di riferimento          | [v <sub>r</sub> ]   |
| Rapporto di viscosità             | [k]                 |
| Vita utile nominale cuscinetto    | [L <sub>n</sub> ]   |
| Coefficiente di sicurezza statica | [S <sub>0</sub> ]   |

Figura 182: Risultati del cuscinetto in basso dell'albero 3

Cuscinetto a rulli in alto.

|  |                   |                     |          |
|--|-------------------|---------------------|----------|
| Posizione (Coordinata Y)                               | [y]               | 149.12              | mm       |
| Sollecitazione equivalente dal punto di vista dinamico | [P]               | 4.03kN              |          |
| Carico statico equivalente                             | [P <sub>0</sub> ] | 4.06                | kN       |
| Spessore minimo dello strato lubrificante EHL          |                   | [h <sub>min</sub> ] | 0.028 μm |
| Fattore probabilità di guasto                          | [a <sub>i</sub> ] | 1.000               |          |

#### 5.4.1 Risultati per ISO 281

|                                   |                     |
|-----------------------------------|---------------------|
| Lubrificante                      | SPIRAX S3 AX 80W-90 |
| Fattore di carico                 | [C/P]               |
| Viscosità di servizio             | [v]                 |
| Viscosità di riferimento          | [v <sub>r</sub> ]   |
| Rapporto di viscosità             | [k]                 |
| Vita utile nominale cuscinetto    | [L <sub>n</sub> ]   |
| Coefficiente di sicurezza statica | [S <sub>0</sub> ]   |

Figura 183: Risultati del cuscinetto in alto dell'albero 3

In conclusione.

| Calcolo in base a ISO 76, ISO 281, ISO/TS 16281 |                |             |             |                        |           |
|---|----------------|-------------|-------------|------------------------|-----------|
| Risultati                                       | S <sub>0</sub> | L10h        | Lnrh        | pmax_i                 |           |
| Cuscinetto a rotolamento 1                      | 58.78          | > 1000000 h | > 1000000 h | 822 N/mm <sup>2</sup>  |           |
| Cuscinetto a rotolamento 2                      | 13.80          | > 1000000 h | > 1000000 h | 1239 N/mm <sup>2</sup> |           |
| Forza di reazione del cuscinetto                |                |             |             |                        |           |
| Cuscinetto a rotolamento 1                      | F              | 725.696 N   | 262.092 N   | X                      | 617.373 N |
| Cuscinetto a rotolamento 2                      | M              | 4.224 Nm    | 0.000 Nm    | Y                      | 952.778 N |
| Componenti                                      |                |             |             | Z                      | 6.549 Nm  |
| Cuscinetto a rotolamento 1                      | F              | 2.606 kN    | -1.503 kN   |                        | 4.057 kN  |
| Cuscinetto a rotolamento 2                      | M              | 21.277 Nm   | 0.000 Nm    |                        | 27.938 Nm |
|   |                |             |             | Rxz                    |           |

Figura 184: Risultati complessivi dei cuscinetti nello step 3 per quanto riguarda l'albero 3

In conclusione, in tutte e tre le configurazioni i cuscinetti soddisfano la vita utile richiesta.

**Albero 4 (output 1)** Per il quarto albero vengono utilizzati:

- Cuscinetto radiale a rulli NUP 211 ECJ (parte inferiore dell'albero);
- Cuscinetto radiale a sfere 6210 (nella parte superiore dell'albero), le cui caratteristiche sono state precedentemente definite nell'albero 1 di input.



## NUP 211 ECJ

- Popular item  
- SKF Explorer

### Cylindrical roller bearings, single row

#### Bearing data

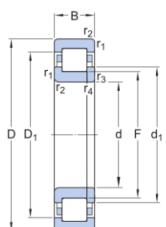
[Tolerances](#),  
Normal (metric), P6, Normal (inch),  
[Radial internal clearance](#),  
cylindrical bore, tapered bore,  
[Axial internal clearance](#),  
NUP, NJ + HJ

#### Bearing interfaces

[Seat tolerances for standard conditions](#),  
[Tolerances and resultant fit](#)

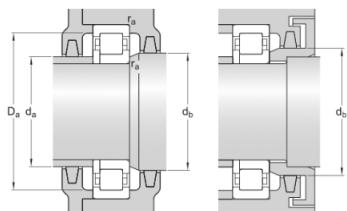
### Technical specification

#### DIMENSIONS



|              |                    |  |
|--------------|--------------------|--|
| d            | 55 mm              | Bore diameter                          |
| D            | 100 mm             | Outside diameter                       |
| B            | 21 mm              | Width                                  |
| $d_1$        | $\approx 70.8$ mm  | Shoulder diameter of inner ring        |
| $D_1$        | $\approx 85.68$ mm | Shoulder diameter of outer ring        |
| F            | 66 mm              | Chamfer dimension of loose flange ring |
| $r_{1,\ell}$ | min. 1.5 mm        | Chamfer dimension                      |
| $r_{3,\ell}$ | min. 1.1 mm        | Chamfer dimension of loose flange ring |

#### ABUTMENT DIMENSIONS



|       |              |                              |
|-------|--------------|------------------------------|
| $d_a$ | min. 63 mm   | Diameter of spacer sleeve    |
| $d_b$ | min. 73 mm   | Diameter of shaft abutment   |
| $D_a$ | max. 91.4 mm | Diameter of housing abutment |
| $r_a$ | max. 1.5 mm  | Radius of fillet             |

Figura 185: Caratteristiche tecniche dei cuscinetti montati sull'albero 4

#### CALCULATION DATA

|                           |          |             |
|---------------------------|----------|-------------|
| Basic dynamic load rating | $C$      | 96.5 kN     |
| Basic static load rating  | $C_0$    | 95 kN       |
| Fatigue load limit        | $P_u$    | 12.2 kN     |
| Reference speed           |          | 7 500 r/min |
| Limiting speed            |          | 8 000 r/min |
| Minimum load factor       | $k_r$    | 0.15        |
| Limiting value            | $e$      | 0.2         |
| Axial load factor         | $\gamma$ | 0.6         |

#### MASS

|      |         |
|------|---------|
| Mass | 0.69 kg |
|------|---------|

Figura 186: Altre caratteristiche tecniche dei cuscinetti montati sull'albero 4

Dalla progettazione degli alberi con il software KissSoft sono stati ottenuti i seguenti risultati per i cuscinetti.

|   |                               |                          |
|---|-------------------------------|--------------------------|
| Probabilità di guasto   | $[n]$                         | 10.00 %                  |
| Gioco assiale (ISO 281)   | $[u_A]$                       | 10.00 $\mu\text{m}$      |
| Lubrificante  | ISO-VG 220Spirax S3 AX 80W-90 |                          |
| Temperatura di esercizio del lubrificante   | $[T_e]$                       | 70.00 $^{\circ}\text{C}$ |
| Cuscinetti volventi: calcolo classico della durata secondo ISO 281, considerando l'angolo di contatto |                               |                          |

Figura 187: Alcuni dati notevoli riguardanti i cuscinetti dell'albero 4

Cuscinetto a rulli in basso.

|  |         |           |
|--|---------|-----------|
| Posizione (Coordinata Y)                               | $[y]$   | 206.00 mm |
| Sollecitazione equivalente dal punto di vista dinamico | $[P]$   | 3.90kN    |
| Carico statico equivalente                             | $[P_0]$ | 3.90 kN   |
| Fattore probabilità di guasto                          | $[a_r]$ | 1.000     |

#### 5.3.1 Risultati per ISO 281

|                                   |                               |                               |
|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Lubrificante                      | ISO-VG 220Spirax S3 AX 80W-90 |                               |
| Fattore di carico                 | $[C/P]$                       |                               |
| Viscosità di servizio             | $[v]$                         | 43.319 $\text{mm}^2/\text{s}$ |
| Viscosità di riferimento          | $[v_r]$                       | 0.000 $\text{mm}^2/\text{s}$  |
| Rapporto di viscosità             | $[k]$                         | 0.000                         |
| Vita utile nominale cuscinetto    | $[L_{nh}]$                    | 624311.87 h                   |
| Coefficiente di sicurezza statica | $[S_0]$                       | 5.95                          |

Figura 188: Risultati del cuscinetto in basso dell'albero 4

Cuscinetto a sfere in alto.

|  |                   |         |    |
|--|-------------------|---------|----|
| Posizione (Coordinata Y)                               | [y]               | 30.00   | mm |
| Sollecitazione equivalente dal punto di vista dinamico | [P]               | 18.98kN |    |
| Carico statico equivalente                             | [P <sub>0</sub> ] | 18.98   | kN |
| Fattore probabilità di guasto                          | [a <sub>i</sub> ] | 1.000   |    |

#### 5.4.1 Risultati per ISO 281

|                                   |                               |           |                    |
|-----------------------------------|-------------------------------|-----------|--------------------|
| Lubrificante                      | ISO-VG 220Spirax S3 AX 80W-90 |           |                    |
| Fattore di carico                 | [C/P]                         | 7.378     |                    |
| Viscosità di servizio             | [ν]                           | 43.319    | mm <sup>2</sup> /s |
| Viscosità di riferimento          | [ν <sub>r</sub> ]             | 0.000     | mm <sup>2</sup> /s |
| Rapporto di viscosità             | [κ]                           | 0.000     |                    |
| Vita utile nominale cuscinetto    | [L <sub>rh</sub> ]            | 566501.42 | h                  |
| Coefficiente di sicurezza statica | [S <sub>0</sub> ]             | 7.80      |                    |

Figura 189: Risultati del cuscinetto in alto dell'albero 4

In conclusione.

| Calcolo in base a ISO 76, ISO 281, ISO/TS 16281 |            |           |           |
|---|------------|-----------|-----------|
| Risultati                                       |            | S0        | L10h      |
| Cuscinetto destra                               |            | 5.95      | 624312 h  |
| Cuscinetto sinistra                             |            | 7.80      | 566501 h  |
| Forza di reazione del cuscinetto                | Componenti | X         | Z         |
| Cuscinetto destra                               | F          | 1.446 kN  | 3.621 kN  |
|   | M          | 0.000 Nm  | 0.000 Nm  |
| Cuscinetto sinistra                             | F          | 7.040 kN  | 17.622 kN |
|   | M          | -0.000 Nm | -0.000 Nm |
|   |            |           | Rxz       |
|   |            |           | 3.899 kN  |
|   |            |           | 0.000 Nm  |
|   |            |           | 18.976 kN |
|   |            |           | 0.000 Nm  |

Figura 190: Risultati complessivi dei cuscinetti per quanto riguarda l'albero 4

**Albero 5 (output 2)** Per il quinto albero sono stati scelti:

- Cuscinetto radiale a rulli NUP 212 ECJ (nella parte inferiore dell'albero);
- Cuscinetto radiale a sfere 61822 (nella parte superiore dell'albero).



## NUP 211 ECJ

- Popular item  
- SKF Explorer

### Cylindrical roller bearings, single row

#### Bearing data

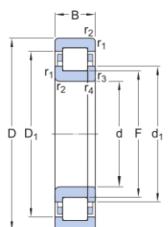
[Tolerances](#),  
Normal (metric), P6, Normal (inch),  
[Radial internal clearance](#),  
cylindrical bore, tapered bore,  
[Axial internal clearance](#),  
NUP, NJ + HJ

#### Bearing interfaces

[Seat tolerances for standard conditions](#),  
[Tolerances and resultant fit](#)

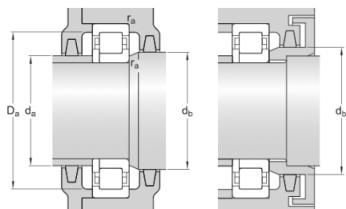
## Technical specification

### DIMENSIONS



|                  |             |  |
|------------------|-------------|--|
| d                | 55 mm       | Bore diameter                          |
| D                | 100 mm      | Outside diameter                       |
| B                | 21 mm       | Width                                  |
| d <sub>1</sub>   | ≈ 70.8 mm   | Shoulder diameter of inner ring        |
| D <sub>1</sub>   | ≈ 85.68 mm  | Shoulder diameter of outer ring        |
| F                | 66 mm       | Chamfer dimension of loose flange ring |
| r <sub>1,z</sub> | min. 1.5 mm | Chamfer dimension                      |
| r <sub>3,z</sub> | min. 1.1 mm | Chamfer dimension of loose flange ring |

### ABUTMENT DIMENSIONS



|                |              |                              |
|----------------|--------------|------------------------------|
| d <sub>a</sub> | min. 63 mm   | Diameter of spacer sleeve    |
| d <sub>b</sub> | min. 73 mm   | Diameter of shaft abutment   |
| D <sub>b</sub> | max. 91.4 mm | Diameter of housing abutment |
| r <sub>a</sub> | max. 1.5 mm  | Radius of fillet             |

Figura 191: Caratteristiche tecniche dei cuscinetti montati sull'albero 5

#### CALCULATION DATA

|                           |          |             |
|---------------------------|----------|-------------|
| Basic dynamic load rating | $C$      | 96.5 kN     |
| Basic static load rating  | $C_0$    | 95 kN       |
| Fatigue load limit        | $P_u$    | 12.2 kN     |
| Reference speed           |          | 7 500 r/min |
| Limiting speed            |          | 8 000 r/min |
| Minimum load factor       | $k_r$    | 0.15        |
| Limiting value            | $e$      | 0.2         |
| Axial load factor         | $\gamma$ | 0.6         |

#### MASS

|      |         |
|------|---------|
| Mass | 0.69 kg |
|------|---------|

Figura 192: Altre caratteristiche tecniche dei cuscinetti montati sull'albero 5



## 61822

- Popular item

### Deep groove ball bearings

#### Bearing data

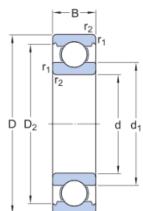
**Tolerances,**  
Normal (metric), P6, P5, Normal (inch),  
**Radial internal clearance,**  
Matched bearing pairs, Stainless steel  
 $d < 10$  mm, Other bearings

#### Bearing interfaces

Seat tolerances for standard  
conditions,  
**Tolerances and resultant fits**

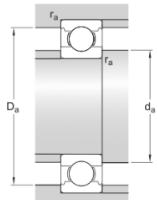
### Technical specification

#### DIMENSIONS



|           |                     |                   |
|-----------|---------------------|-------------------|
| d         | 110 mm              | Bore diameter     |
| D         | 140 mm              | Outside diameter  |
| B         | 16 mm               | Width             |
| $d_1$     | $\approx 118.6$ mm  | Shoulder diameter |
| $D_2$     | $\approx 134.05$ mm | Recess diameter   |
| $r_{1,2}$ | min. 1 mm           | Chamfer dimension |

#### ABUTMENT DIMENSIONS



|                   |                                   |
|-------------------|-----------------------------------|
| $d_a$ min. 115 mm | Diameter of shaft abutment        |
| $D_a$ max. 135 mm | Diameter of housing abutment      |
| $r_a$ max. 1 mm   | Radius of shaft or housing fillet |

Figura 193: Caratteristiche tecniche dei cuscinetti montati sull'albero 5

#### CALCULATION DATA

|                           |       |             |
|---------------------------|-------|-------------|
| Basic dynamic load rating | $C$   | 28.1 kN     |
| Basic static load rating  | $C_0$ | 26 kN       |
| Fatigue load limit        | $P_u$ | 1.25 kN     |
| Reference speed           |       | 9 500 r/min |
| Limiting speed            |       | 5 600 r/min |
| Minimum load factor       | $k_r$ | 0.015       |
| Calculation factor        | $f_0$ | 13.6        |

#### MASS

|              |         |
|--------------|---------|
| Mass bearing | 0.47 kg |
|--------------|---------|

Figura 194: Altre caratteristiche tecniche dei cuscinetti montati sull'albero 5

Dalla progettazione degli alberi con il software KissSoft sono stati ottenuti i seguenti risultati per i cuscinetti.

|   |                               |          |
|---|-------------------------------|----------|
| Probabilità di guasto   | [n]                           | 10.00 %  |
| Gioco assiale (ISO 281)   | [u <sub>A</sub> ]             | 10.00 μm |
| Lubrificante  | ISO-VG 220Spirax S3 AX 80W-90 |          |
| Temperatura di esercizio del lubrificante   | [T <sub>E</sub> ]             | 70.00 °C |
| Cuscinetti volventi: calcolo classico della durata secondo ISO 281, considerando l'angolo di contatto |                               |          |

Figura 195: Alcuni dati notevoli riguardanti i cuscinetti dell'albero 5

Cuscinetto a rulli in basso.

|  |                   |          |
|--|-------------------|----------|
| Posizione (Coordinata Y)                               | [y]               | 49.00 mm |
| Sollecitazione equivalente dal punto di vista dinamico | [P]               | 4.53kN   |
| Carico statico equivalente                             | [P <sub>0</sub> ] | 4.53 kN  |
| Fattore probabilità di guasto                          | [a <sub>1</sub> ] | 1.000    |

#### 5.3.1 Risultati per ISO 281

|                                   |                     |
|-----------------------------------|---------------------|
| Lubrificante                      | Spirax S3 AX 80W-90 |
| Fattore di carico                 | [C/P]               |
| Viscosità di servizio             | [ν]                 |
| Viscosità di riferimento          | [ν <sub>r</sub> ]   |
| Rapporto di viscosità             | [κ]                 |
| Vita utile nominale cuscinetto    | [L <sub>n</sub> ]   |
| Coefficiente di sicurezza statica | [S <sub>0</sub> ]   |

Figura 196: Risultati del cuscinetto in basso dell'albero 5

Cuscinetto a sfere in alto.

|  |                   |        |    |
|--|-------------------|--------|----|
| Posizione (Coordinata Y)                               | [y]               | 112.00 | mm |
| Sollecitazione equivalente dal punto di vista dinamico | [P]               | 1.62kN |    |
| Carico statico equivalente                             | [P <sub>0</sub> ] | 1.62   | kN |
| Fattore probabilità di guasto                          | [a <sub>1</sub> ] | 1.000  |    |

#### 5.4.1 Risultati per ISO 281

|                                   |                     |
|-----------------------------------|---------------------|
| Lubrificante                      | Spirax S3 AX 80W-90 |
| Fattore di carico                 | [C/P]               |
| Viscosità di servizio             | [v]                 |
| Viscosità di riferimento          | [v <sub>r</sub> ]   |
| Rapporto di viscosità             | [k]                 |
| Vita utile nominale cuscinetto    | [L <sub>n</sub> ]   |
| Coefficiente di sicurezza statica | [S <sub>0</sub> ]   |

Figura 197: Risultati del cuscinetto in alto dell'albero 5

In conclusione.

| Calcolo in base a ISO 76, ISO 281, ISO/TS 16281 |            | S0        | L10h     |
|---|------------|-----------|----------|
| Risultati                                       |            | 17.68     | 95666 h  |
| SINISTRA  |            | 16.03     | 120564 h |
| CENTRO  |            |           |          |
| Forza di reazione del cuscinetto                | Componenti | X         | Z        |
| SINISTRA  | F          | 1.743 kN  | 0.000 kN |
|   | M          | 0.000 Nm  | 0.000 Nm |
| CENTRO  | F          | -0.611 kN | 0.000 kN |
|   | M          | 0.000 Nm  | 0.000 Nm |

Figura 198: Risultati complessivi dei cuscinetti per quanto riguarda l'albero 5

Le caratteristiche geometriche dei singoli cuscinetti sono risultate funzionali alla realizzazione del modello tridimensionale del riduttore mediante SOLIDWORKS.

Le informazioni dei cuscinetti montati sui diversi alberi sono state tutte ricavate dal catalogo SKF, dal quale poi sono stati anche scaricati i relativi modelli CAD già realizzati, pronti per la creazione del disegno di assieme.

## 6 Dimensionamento dei calettamenti tra alberi e ruote

Terminato il dimensionamento degli elementi volventi, si è passati a dimensionare il calettamento tra ruote dentate ed alberi.

I calettamenti albero mozzo possono seguire diverse configurazioni, nel caso del riduttore in esame si è scelto l'utilizzo di profili scanalati viste le elevate potenze e coppie in gioco.

Anche in questo caso la verifica dei singoli calettamenti è avvenuta mediante il software KISSsoft.

I profili scanalati sono caratterizzati dai parametri riportati in Fig.199.

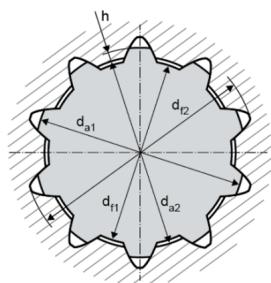


Figura 199: Parametri caratteristici del profilo scanalato

**Profilo scanalato Albero 1 (input)** È stato scelto un profilo scanalato caratterizzato da:

- $d_{a1} = 54.75$  mm;
- $d_{a2} = 53.27$  mm;
- $m_a = 0.75$  mm;
- $z = 72$  (numero di denti).

Dati base

| Norma   |               |            |     |        |
|---|---------------|------------|-----|--------|
| ISO 4156:2005, 30°, (Arrotondamento del piede ampio - Completo) |               |            |     |        |
| $d_a$ [mm]  | $d_{a0}$ [mm] | $m_a$ [mm] | $z$ | $x$    |
| 54.2500   | 50.8800       | 1.7500     | 30  | 0.0000 |
| 54.7500   | 53.2700       | 0.7500     | 72  | 0.0000 |
| 55.0000   | 53.0400       | 1.0000     | 54  | 0.0000 |
| 55.0000   | 52.5600       | 1.2500     | 43  | 0.0000 |
| 55.0000   | 50.2700       | 2.5000     | 21  | 0.0000 |
| 55.0000   | 46.2100       | 5.0000     | 10  | 0.0000 |

| Dati d'esercizio                   |           |             |  |  |
|------------------------------------|-----------|-------------|--|--|
| Momento torcente nominale          | $T_n$     | 244.8538 Nm |  | Andamento del carico                               |
| Massimo momento torcente           | $T_{max}$ | 306.0673 Nm |  | Numero delle variazioni della direzione del carico |
| Fattore d'applicazione             | $K_A$     | 1.2500      |  | Numero di carichi di punta                         |
| Lunghezza portante                 | $l_p$     | 40.0000 mm  |  | Campo di tolleranza secondo DIN 5480               |
| Diametro esterno grande del mozzo  | $D_2$     | 81.0000 mm  |  | Distanza   |
| Diametro esterno piccolo del mozzo | $D_1$     | 60.0000 mm  |  | Larghezza parte mozzo con $D_2$                    |

| Geometria                          |       |            |  |                                      |
|------------------------------------|-------|------------|--|--------------------------------------|
| Lunghezza portante                 | $l_p$ | 40.0000 mm |  | Campo di tolleranza secondo DIN 5480 |
| Diametro esterno grande del mozzo  | $D_2$ | 81.0000 mm |  | Distanza                             |
| Diametro esterno piccolo del mozzo | $D_1$ | 60.0000 mm |  | Larghezza parte mozzo con $D_2$      |

| Materiali |                     |                                   |  |  |
|-----------|---------------------|-----------------------------------|--|--|
| Albero    | Ac. da bonifica     | 42 CrMo 4 (1), legato, bonificato |  |  |
| Mozzo     | Ac. da cementazione | 20 MnCr 5, cementato              |  |  |

Figura 200: Caratteristiche del profilo scanalato sull'albero 1

Eseguendo il calcolo di verifica si sono ottenuti i seguenti risultati.

#### Albero

|   |                   |
|---|-------------------|
| Pressione di contatto attiva equivalente (N/mm <sup>2</sup> ) [peq] | 7.88              |
| Pressione di contatto attiva massima (N/mm <sup>2</sup> ) [pmax]    | 7.88              |
| Coeff. d'appoggio   | [fs]              |
| Coeff. carico di punta  | [fL]              |
| Coeff. d'influsso della durezza                                     | [fH]              |
| Pressione ammessa (N/mm <sup>2</sup> )                              | [pzuleq] 845.00   |
| Pressione ammessa (N/mm <sup>2</sup> )                              | [pzulmax] 1267.50 |
| $fw * pzul / peq$   | 107.29            |
| $fL * pzul / pmax$  | 160.94            |
| Sicurezza nominale  | 1.00              |
| Sicurezza minima  | 107.29            |

Figura 201: Parametri di verifica del profilo scanalato riguardante l'albero

#### Mozzo

|   |                   |
|---|-------------------|
| Pressione di contatto attiva equivalente (N/mm <sup>2</sup> ) [peq] | 7.88              |
| Pressione di contatto attiva massima (N/mm <sup>2</sup> ) [pmax]    | 7.88              |
| Coeff. d'appoggio   | [fs]              |
| Coeff. carico di punta  | [fL]              |
| Coeff. d'influsso della durezza                                     | [fH]              |
| Pressione ammessa (N/mm <sup>2</sup> )                              | [pzuleq] 974.62   |
| Pressione ammessa (N/mm <sup>2</sup> )                              | [pzulmax] 1461.94 |
| $fw * pzul / peq$   | 123.75            |
| $fL * pzul / pmax$  | 185.63            |
| Sicurezza nominale  | 1.00              |
| Sicurezza minima  | 123.75            |

Figura 202: Parametri di verifica del profilo scanalato riguardante il mozzo

In conclusione, il calettamento risulta quindi verificato nei limiti di sicurezza.

|   | <b>Albero</b> | <b>mozzo</b> |
|---|---------------|--------------|
| Sollecitazione a pressione con $T_n$ (N/mm $^2$ )     | 7.8756        | 7.8756       |
| Sollecitazione a pressione con $T_{max}$ (N/mm $^2$ ) | 7.8756        | 7.8756       |
| Sicurezza con $T_n$                                   | 107.29        | 123.75       |
| Sicurezza con $T_{max}$                               | 160.94        | 185.63       |

Figura 203: Verifica del profilo scanalato dell'albero 1

**Profilo scanalato Albero 2** È stato scelto un profilo scanalato caratterizzato da:

- $d_{a1} = 40$  mm;
- $d_{a2} = 33.09$  mm;
- $m_a = 4$  mm;
- $z = 9$ .

Figura 204: Caratteristiche del profilo scanalato sull'albero 2

Eseguendo il calcolo di verifica si sono ottenuti i seguenti risultati.

#### Albero

|   |         |
|---|---------|
| Pressione di contatto attiva equivalente (N/mm $^2$ ) [peq] | 20.73   |
| Pressione di contatto attiva massima (N/mm $^2$ ) [pmax]    | 20.73   |
| Coeff. d'appoggio [fs]                                      | 1.30    |
| Coeff. carico di punta [fL]                                 | 1.50    |
| Coeff. d'influsso della durezza [fH]                        | 1.00    |
| Pressione ammessa (N/mm $^2$ ) [pzuleq]                     | 845.00  |
| Pressione ammessa (N/mm $^2$ ) [pzulmax]                    | 1267.50 |
| fw * pzul / peq   | 40.75   |
| fL * pzul / pmax  | 61.13   |
| Sicurezza nominale  | 1.00    |
| Sicurezza minima  | 40.75   |

Figura 205: Parametri di verifica del profilo scanalato riguardante l'albero

## Mozzo

|   |                  |
|---|------------------|
| Pressione di contatto attiva equivalente (N/mm <sup>2</sup> ) [peq] | 20.73            |
| Pressione di contatto attiva massima (N/mm <sup>2</sup> ) [pmax]    | 20.73            |
| Coeff. d'appoggio   | 1.50             |
| Coeff. carico di punta  | [fL]             |
| Coeff. d'influsso della durezza                                     | [fH]             |
| Pressione ammessa (N/mm <sup>2</sup> )                              | 733.13           |
| Pressione ammessa (N/mm <sup>2</sup> )                              | [pzuleq] 1099.69 |
| fw * pzul / peq   | 35.36            |
| fL * pzul / pmax  | 53.04            |
| Sicurezza nominale  | 1.00             |
| Sicurezza minima  | 35.36            |

Figura 206: Parametri di verifica del profilo scanalato riguardante il mozzo

In conclusione, il calettamento risulta quindi verificato nei limiti di sicurezza.

|   | Albero  | mozzo   |
|---|---------|---------|
| Sollecitazione a pressione con $T_n$ (N/mm <sup>2</sup> )     | 20.7346 | 20.7346 |
| Sollecitazione a pressione con $T_{max}$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 20.7346 | 20.7346 |
| Sicurezza con $T_n$   | 40.75   | 35.36   |
| Sicurezza con $T_{max}$                                       | 61.13   | 53.04   |

Figura 207: Verifica del profilo scanalato dell'albero 2

**Profilo scanalato Albero 3** È stato scelto un profilo scanalato caratterizzato da:

- $d_{a1} = 40$  mm;
- $d_{a2} = 33.09$  mm;
- $m_a = 4$  mm;
- $z = 9$ .

| Dati base                                    |                     |                                   |  |                       |
|--|---------------------|-----------------------------------|--|-----------------------|
| Norma  |                     |                                   |  |                       |
| ISO 4156:2005, 30°, (piedi piano - Completo) |                     |                                   |  |                       |
| $d_a$ [mm]                                   | $d_{a2}$ [mm]       | $m_a$ [mm]                        | $z$  | $x$                   |
| 40.000                                       | 35.3900             | 2.5000                            | 15   | 0.0000                |
| 40.000                                       | 33.0900             | 4.0000                            | 9  | 0.0000                |
| 40.000                                       | 31.8100             | 5.0000                            | 7  | 0.0000                |
| 40.2500                                      | 36.9300             | 1.7500                            | 22   | 0.0000                |
| 40.5000                                      | 39.5100             | 0.5000                            | 80   | 0.0000                |
| 40.5000                                      | 39.0300             | 0.7500                            | 53   | 0.0000                |
| <br>Dati d'esercizio                         |                     |                                   |  |                       |
| Momento torcente nominale                    | $T_n$               | 290.1970 Nm                       | Andamento del carico                                     | Con momento alternato |
| Massimo momento torcente                     | $T_{max}$           | 362.7463 Nm                       | Numero delle variazioni della direzione del carico $N_w$ | 3                     |
| Fattore d'applicazione                       | $K_a$               | 1.2500                            | Numero di carichi di punta $N_c$                         | 1000                  |
| <br>Geometria                                |                     |                                   |  |                       |
| Lunghezza portante                           | $l_p$               | 70.0000 mm                        | Campo di tolleranza secondo DIN 5480                     | H7                    |
| Diametro esterno grande del mozzo $D_2$      |                     | 87.5410 mm                        | Distanza   | $a_0$ 10.0000 mm      |
| Diametro esterno piccolo del mozzo $D_1$     |                     | 50.0000 mm                        | Larghezza parte mozzo con $D_2$                          | $c$ 10.0000 mm        |
| <br>Materiali                                |                     |                                   |  |                       |
| Albero                                       | Ac. da bonifica     | 42 CrMo 4 (1), legato, bonificato |  |                       |
| Mozzo  | Ac. da cementazione | 20 MnCr 5, cementato              |  |                       |

Figura 208: Caratteristiche del profilo scanalato sull'albero 3

Eseguendo il calcolo di verifica si sono ottenuti i seguenti risultati.

#### *Albero*

|   |                   |
|---|-------------------|
| Pressione di contatto attiva equivalente (N/mm <sup>2</sup> ) [peq] | 18.75             |
| Pressione di contatto attiva massima (N/mm <sup>2</sup> ) [pmax]    | 18.75             |
| Coeff. d'appoggio   | [fs]              |
| Coeff. carico di punta  | [fL]              |
| Coeff. d'influsso della durezza                                     | [fH]              |
| Pressione ammessa (N/mm <sup>2</sup> )                              | [pzuleq] 845.00   |
| Pressione ammessa (N/mm <sup>2</sup> )                              | [pzulmax] 1267.50 |
| fw * pzul / peq   | 45.06             |
| fL * pzul / pmax  | 67.59             |
| Sicurezza nominale  | 1.00              |
| Sicurezza minima  | 45.06             |

Figura 209: Parametri di verifica del profilo scanalato riguardante l'albero

#### *Mozzo*

|   |                   |
|---|-------------------|
| Pressione di contatto attiva equivalente (N/mm <sup>2</sup> ) [peq] | 18.75             |
| Pressione di contatto attiva massima (N/mm <sup>2</sup> ) [pmax]    | 18.75             |
| Coeff. d'appoggio   | [fs]              |
| Coeff. carico di punta  | [fL]              |
| Coeff. d'influsso della durezza                                     | [fH]              |
| Pressione ammessa (N/mm <sup>2</sup> )                              | [pzuleq] 974.62   |
| Pressione ammessa (N/mm <sup>2</sup> )                              | [pzulmax] 1461.94 |
| fw * pzul / peq   | 51.98             |
| fL * pzul / pmax  | 77.96             |
| Sicurezza nominale  | 1.00              |
| Sicurezza minima  | 51.98             |

Figura 210: Parametri di verifica del profilo scanalato riguardante il mozzo

In conclusione, il calettamento risulta quindi verificato nei limiti di sicurezza.

|  | Albero  | mozzo   |
|--|---------|---------|
| Sollecitazione a pressione con T <sub>n</sub> (N/mm <sup>2</sup> )   | 18.7517 | 18.7517 |
| Sollecitazione a pressione con T <sub>max</sub> (N/mm <sup>2</sup> ) | 18.7517 | 18.7517 |
| Sicurezza con T <sub>n</sub>   | 45.06   | 51.98   |
| Sicurezza con T <sub>max</sub>                                       | 67.59   | 77.96   |

Figura 211: Verifica del profilo scanalato dell'albero 3

**Profilo scanalato Albero 4** È stato scelto un profilo scanalato caratterizzato da:

- $d_{a1} = 44.5$  mm;
- $d_{a2} = 40$  mm;
- $m_a = 2.5$  mm;
- $z = 16$ .

Dati base

Norma  
DIN 5480:2006 (Completo)

| $d_u$ [mm] | $d_o$ [mm] | $m_u$ [mm] | $z$ | $x$     |
|------------|------------|------------|-----|---------|
| 41.8500    | 40.5000    | 0.7500     | 54  | 0.4500  |
| 44.0000    | 35.0000    | 5.0000     | 7   | 0.4500  |
| 44.2000    | 37.0000    | 4.0000     | 10  | 0.0750  |
| 44.4000    | 39.0000    | 3.0000     | 13  | 0.4500  |
| 44.4000    | 39.0000    | 3.0000     | 14  | -0.0500 |
| 44.5000    | 40.0000    | 2.5000     | 16  | 0.4500  |

Dati d'esercizio

|                           |           |             |  |                       |
|---------------------------|-----------|-------------|--|-----------------------|
| Momento torcente nominale | $T_n$     | 641.6029 Nm | Andamento del carico                                     | Con momento alternato |
| Massimo momento torcente  | $T_{max}$ | 802.0036 Nm | Numero delle variazioni della direzione del carico $N_d$ | 3                     |
| Fattore d'applicazione    | $K_A$     | 1.2500      | Numero di carichi di punta                               | $N_c$                 |

Geometria

|  |       |             |                                      |       |
|--|-------|-------------|--------------------------------------|-------|
| Lunghezza portante                       | $l_x$ | 35.0000 mm  | Campo di tolleranza secondo DIN 5480 | H7    |
| Diametro esterno grande del mozzo $D_2$  |       | 193.5110 mm | Distanza                             | $a_0$ |
| Diametro esterno piccolo del mozzo $D_1$ |       | 55.0000 mm  | Larghezza parte mozzo con $D_2$      | c     |

Materiali

|        |                     |                                   |
|--------|---------------------|-----------------------------------|
| Albero | Ac. da bonifica     | 42 CrMo 4 (1), legato, bonificato |
| Mozzo  | Ac. da cementazione | 20 MnCr 5, cementato              |

Figura 212: Caratteristiche del profilo scanalato sull'albero 4

Eseguendo il calcolo di verifica si sono ottenuti i seguenti risultati.

#### Albero

|   |           |
|---|-----------|
| Pressione di contatto attiva equivalente ( $N/mm^2$ ) [peq] | 43.71     |
| Pressione di contatto attiva massima ( $N/mm^2$ ) [pmax]    | 43.71     |
| Coeff. d'appoggio   | [fs]      |
| Coeff. carico di punta                                      | [fL]      |
| Coeff. d'influsso della durezza                             | [fH]      |
| Pressione ammessa ( $N/mm^2$ )                              | [pzuleq]  |
| Pressione ammessa ( $N/mm^2$ )                              | [pzulmax] |
| $fw * pzul / peq$   | 845.00    |
| $fw * pzul / peq$   | 1267.50   |
| $fL * pzul / pmax$  | 19.33     |
| $fL * pzul / pmax$  | 29.00     |
| Sicurezza nominale  | 1.00      |
| Sicurezza minima  | 19.33     |

Figura 213: Parametri di verifica del profilo scanalato riguardante l'albero

#### Mozzo

|   |           |
|---|-----------|
| Pressione di contatto attiva equivalente ( $N/mm^2$ ) [peq] | 43.71     |
| Pressione di contatto attiva massima ( $N/mm^2$ ) [pmax]    | 43.71     |
| Coeff. d'appoggio   | [fs]      |
| Coeff. carico di punta                                      | [fL]      |
| Coeff. d'influsso della durezza                             | [fH]      |
| Pressione ammessa ( $N/mm^2$ )                              | [pzuleq]  |
| Pressione ammessa ( $N/mm^2$ )                              | [pzulmax] |
| $fw * pzul / peq$   | 733.13    |
| $fw * pzul / peq$   | 1099.69   |
| $fL * pzul / pmax$  | 16.77     |
| $fL * pzul / pmax$  | 25.16     |
| Sicurezza nominale  | 1.00      |
| Sicurezza minima  | 16.77     |

Figura 214: Parametri di verifica del profilo scanalato riguardante il mozzo

In conclusione, il calettamento risulta quindi verificato nei limiti di sicurezza.

|   | <b>Albero</b> | <b>mozzo</b> |
|---|---------------|--------------|
| Sollecitazione a pressione con $T_n$ (N/mm $^2$ )     | 43.7090       | 43.7090      |
| Sollecitazione a pressione con $T_{max}$ (N/mm $^2$ ) | 43.7090       | 43.7090      |
| Sicurezza con $T_n$                                   | 19.33         | 16.77        |
| Sicurezza con $T_{max}$                               | 29.00         | 25.16        |

Figura 215: Verifica del profilo scanalato dell'albero 4

**Profilo scanalato Albero 5** È stato scelto un profilo scanalato caratterizzato da:

- $d_{a1} = 41.25$  mm;
- $d_{a2} = 38.84$  mm;
- $m_a = 1.25$  mm;
- $z = 32$ .

Dati base

Norma  
ISO 4156:2005, 30°, (Arrotondamento del piede ampio - Completo)

| $d_{a1}$ [mm] | $d_{a2}$ [mm] | $m_a$ [mm] | $z$ | $x$    |
|---------------|---------------|------------|-----|--------|
| 40.2500       | 36.9300       | 1.7500     | 22  | 0.0000 |
| 40.5000       | 39.0300       | 0.7500     | 53  | 0.0000 |
| 40.5000       | 37.6300       | 1.5000     | 26  | 0.0000 |
| 41.0000       | 39.0600       | 1.0000     | 40  | 0.0000 |
| 41.2500       | 39.7800       | 0.7500     | 54  | 0.0000 |
| 41.2500       | 38.8400       | 1.2500     | 32  | 0.0000 |

Dati d'esercizio

|                           |           |              |  |                       |
|---------------------------|-----------|--------------|--|-----------------------|
| Momento torcente nominale | $T_n$     | 3030.8637 Nm | Andamento del carico                                     | Con momento alternato |
| Massimo momento torcente  | $T_{max}$ | 3788.5796 Nm | Numero delle variazioni della direzione del carico $N_W$ | 3                     |
| Fattore d'applicazione    | $K_A$     | 1.2500       | Numero di carichi di punta $N_L$                         | 1000                  |

Geometria

|  |       |             |                                      |                  |
|--|-------|-------------|--------------------------------------|------------------|
| Lunghezza portante                       | $l_p$ | 50.0000 mm  | Campo di tolleranza secondo DIN 5480 | H7               |
| Diametro esterno grande del mozzo $D_2$  |       | 285.3571 mm | Distanza                             | $a_0$ 10.0000 mm |
| Diametro esterno piccolo del mozzo $D_1$ |       | 50.0000 mm  | Larghezza parte mozzo con $D_2$      | c 10.0000 mm     |

Materiali

|        |                     |                                   |
|--------|---------------------|-----------------------------------|
| Albero | Ac. da bonifica     | 42 CrMo 4 (1), legato, bonificato |
| Mozzo  | Ac. da cementazione | 20 MnCr 5, cementato              |

Figura 216: Caratteristiche del profilo scanalato sull'albero 5

Eseguendo il calcolo di verifica si sono ottenuti i seguenti risultati.

*Albero*

|   |         |
|---|---------|
| Pressione di contatto attiva equivalente (N/mm $^2$ ) [ped] | 164.99  |
| Pressione di contatto attiva massima (N/mm $^2$ ) [pmax]    | 164.99  |
| Coeff. d'appoggio [fs]                                      | 1.30    |
| Coeff. carico di punta [fL]                                 | 1.50    |
| Coeff. d'influsso della durezza [fH]                        | 1.00    |
| Pressione ammessa (N/mm $^2$ ) [pzuleq]                     | 845.00  |
| Pressione ammessa (N/mm $^2$ ) [pzulmax]                    | 1267.50 |
| $f_w * pzul / p_{eq}$                                       | 5.12    |
| $f_L * pzul / p_{max}$                                      | 7.68    |
| Sicurezza nominale  | 1.00    |
| Sicurezza minima  | 5.12    |

Figura 217: Parametri di verifica del profilo scanalato riguardante l'albero

### Mozzo

|   |           |
|---|-----------|
| Pressione di contatto attiva equivalente (N/mm <sup>2</sup> ) [peq] | 164.99    |
| Pressione di contatto attiva massima (N/mm <sup>2</sup> ) [pmax]    | 164.99    |
| Coeff. d'appoggio   | [fs]      |
| Coeff. carico di punta  | [fL]      |
| Coeff. d'influsso della durezza                                     | [fH]      |
| Pressione ammessa (N/mm <sup>2</sup> )                              | [pzuleq]  |
| Pressione ammessa (N/mm <sup>2</sup> )                              | [pzulmax] |
| fw * pzul / peq   | 733.13    |
| fL * pzul / pmax  | 1099.69   |
|   | 4.44      |
|   | 6.66      |
| Sicurezza nominale  | 1.00      |
| Sicurezza minima  | 4.44      |

Figura 218: Parametri di verifica del profilo scanalato riguardante il mozzo

In conclusione, il calettamento risulta quindi verificato nei limiti di sicurezza.

|  | Albero   | mozzo    |
|--|----------|----------|
| Sollecitazione a pressione con T <sub>n</sub> (N/mm <sup>2</sup> )   | 164.9944 | 164.9944 |
| Sollecitazione a pressione con T <sub>max</sub> (N/mm <sup>2</sup> ) | 164.9944 | 164.9944 |
| Sicurezza con T <sub>n</sub>   | 5.12     | 4.44     |
| Sicurezza con T <sub>max</sub>                                       | 7.68     | 6.66     |

Figura 219: Verifica del profilo scanalato dell'albero 5

## 7 Scelta tenute rotanti

Gli anelli di tenuta per alberi rotanti vengono usati per evitare la contaminazione di fluidi dall'interno o dall'esterno durante il funzionamento del dispositivo.

La scelta del tipo corretto di tenuta dipende da diversi parametri operativi, quali ad esempio: il fluido da ritenere, la temperatura di esercizio, la velocità periferica, la pressione, le dimensioni e le condizioni ambientali dal lato aria.

Gli anelli di tenuta sono costituiti da un elemento in elastomero, un inserto metallico ed una molla.

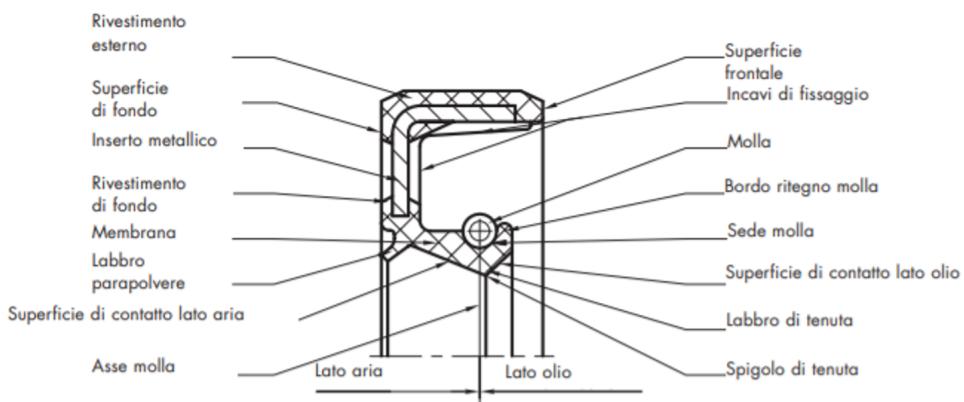


Figura 220: Nomenclatura caratteristica del paraolio

La superficie esterna garantisce una tenuta statica sicura e fissa l'anello nella sua sede. Il rivestimento esterno può essere sia in elastomero che in materiale metallico. L'inserto metallico fornisce all'anello di tenuta la stabilità necessaria, mentre il labbro di tenuta è pretensionato per mezzo di una molla che assicura la pressione del labbro sull'albero.

Su richiesta, si può usare un labbro parapolvere per impedire allo sporco o alla polvere di entrare all'interno del carter.

Gli anelli di tenuta sono conformi alla norma DIN 3760.

### *Funzionamento*

Il contatto tra lo spigolo di tenuta del paraolio e l'albero è garantito dalla molla e dal sottodimensionamento del diametro interno del labbro di tenuta, per fare in modo che vi sia la necessaria interferenza e forza tra i due. Dopo un breve periodo di funzionamento lo spigolo di tenuta si deforma, permettendo la creazione di una sottile pellicola di fluido tra albero e spigolo, impedendo così il contatto diretto tra albero e anello, garantendone lubrificazione e durata.

Lo spessore di questa pellicola è compreso tra 1 e 3 micron e sul lato esterno è delimitata da un menisco, la cui tensione superficiale impedisce perdite.

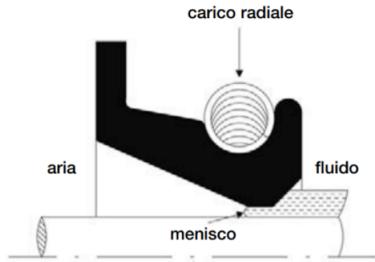


Figura 221: Schema di funzionamento della tenuta

Il compito della superficie esterna dell'anello di tenuta è di assicurare la tenuta statica nella sede di alloggiamento, ovvero impedire il passaggio del fluido tra anello e sede in tutte le possibili condizioni di funzionamento.

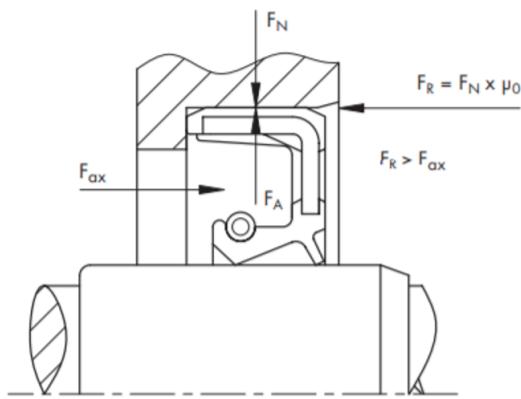


Figura 222: Schema di funzionamento della tenuta

Inoltre, alla superficie esterna della tenuta è richiesto di assolvere altri compiti:

- Guida e fissaggio dell'anello di tenuta nella sede. Un fissaggio sicuro è garantito quando la forza di attrito  $F_R$  risulta maggiore delle forze assiali  $F_{ax}$  che vengono ad agire sull'anello di tenuta;
- Semplificazione delle operazioni di installazione (prevedendo smussi e raccordi);
- Compensazione di giochi risultanti dai differenti coefficienti di dilatazione termica.

La scelta della corretta superficie esterna per un anello di tenuta dipende dall'applicazione specifica e dalle condizioni di funzionamento principali.

Le tenute rotanti sono state inserite solamente dove necessarie, ovvero sugli alberi di input, di output e albero 2. In particolare, il posizionamento delle tenute è visibile dal modello CAD bidimensionale del riduttore nella figura sottostante.

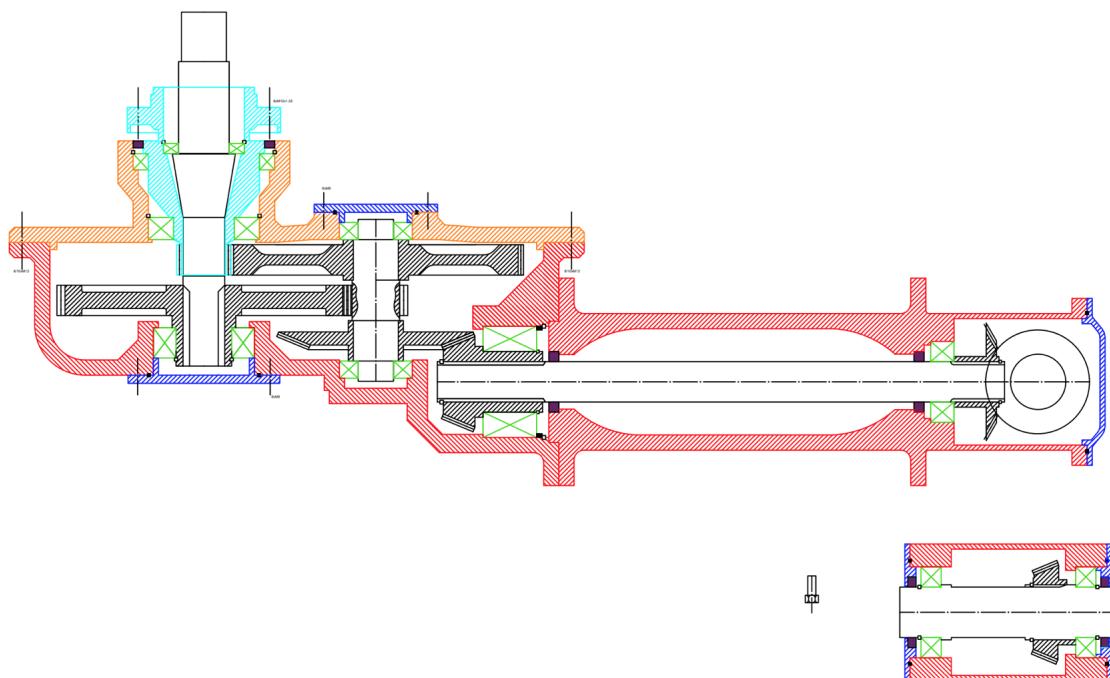


Figura 223: Rappresentazione 2D del riduttore

Per il progetto sono stati scelti degli anelli di tenuta per alberi rotanti, presi dal catalogo SKF.

**Albero 1** Per questo albero è stata utilizzata la tenuuta 60X70X07 CRS1 R

**SKF** Generato dal {sito} il {data}



**60X70X07 CRS1 R**

Tenute radiali per alberi per applicazioni industriali generiche  
Radial shaft seals sit between rotating and stationary components, or two components in relative motion. They have two main parts. One is a cylindrical outer covering with an interference fit that seals statically against the housing bore. The second, a sealing lip, seals dynamically and statically against the shaft. Its sealing edge presses against the counterface surface of the shaft with a defined radial load.

Specifiche tecniche

|                          |                      |
|--------------------------|----------------------|
| Tipo di diametro esterno | Metal-cased          |
| Materiale labbro         | Nitrile rubber (NBR) |
| Design della tenuta      | CRS1                 |

**DIMENSIONI**

|       |       |                        |
|-------|-------|------------------------|
| $d_1$ | 60 mm | Diametro albero        |
| D     | 70 mm | Diametro foro supporto |
| b     | 7 mm  | Larghezza di tenuta    |

Figura 224: Caratteristiche tecniche dei paraoli montati sull'albero 1

## APPLICAZIONI E CONDIZIONI DI ESERCIZIO

|                              |                  |
|------------------------------|------------------|
| Temperatura di esercizio     | min. -40 °C      |
| Temperatura di esercizio     | max. 100 °C      |
| Velocità dell'albero         | max. 2 760 r/min |
| Velocità superficiale albero | max. 8.58 m/s    |
| Variazione di pressione      | 0.07 N/mm        |

Figura 225: Caratteristiche tecniche dei paraoli montati sull'albero 1

**Albero 2** Per questo albero è stata utilizzata la tenuta 40X60X10 HMS5 V.

**SKF** Generato dal [sito] il [data]



**40X60X10 HMS5 V**

Tenute radiali per alberi per applicazioni industriali generiche  
Radial shaft seals sit between rotating and stationary components, or two components in relative motion. They have two main parts. One is a cylindrical outer covering with an interference fit that seals statically against the housing bore. The second, a sealing lip, seals dynamically and statically against the shaft. Its sealing edge presses against the counterface surface of the shaft with a defined radial load.

Specifiche tecniche

|                          |                         |
|--------------------------|-------------------------|
| Tipo di diametro esterno | Rubber metal reinforced |
| Materiale labbro         | Fluoro rubber (FKM)     |
| Design della tenuta      | HMS5                    |
| Conformità allo standard | ISO 6194, DIN 3760      |

**DIMENSIONI**

|       |       |                        |
|-------|-------|------------------------|
| $d_1$ | 40 mm | Diametro albero        |
| D     | 60 mm | Diametro foro supporto |
| b     | 10 mm | Larghezza di tenuta    |

Figura 226: Caratteristiche tecniche dei paraoli montati sull'albero 2

APPLICAZIONI E CONDIZIONI DI ESERCIZIO

|   |                   |
|---|-------------------|
| Temperatura di esercizio                                | min. -20 °C       |
| Temperatura di esercizio                                | max. 200 °C       |
| Temperature di esercizio ammissibili, per brevi periodi | max. 200 °C       |
| Velocità dell'albero                                    | max. 10 860 r/min |
| Velocità superficiale albero                            | max. 22.69 m/s    |
| Variazione di pressione                                 | 0.03 N/mm         |

Figura 227: Caratteristiche tecniche dei paraoli montati sull'albero 2

**Albero 5** Per questo albero è stata utilizzata la tenuta 120X140X12 HMSA10 RG.

**SKF** Generato dal {sito} il {data}



**120X140X12 HMSA10 RG**

Tenute radiali per alberi per applicazioni industriali generiche  
Radial shaft seals sit between rotating and stationary components, or two components in relative motion. They have two main parts. One is a cylindrical outer covering with an interference fit that seals statically against the housing bore. The second, a sealing lip, seals dynamically and statically against the shaft. Its sealing edge presses against the counterface surface of the shaft with a defined radial load.

Specifiche tecniche

|                          |                         |
|--------------------------|-------------------------|
| Tipo di diametro esterno | Rubber metal reinforced |
| Materiale labbro         | Nitrile rubber (NBR)    |
| Design della tenuta      | HMSA10                  |
| Conformità allo standard | ISO 6194, DIN 3760      |

**DIMENSIONI**

|              |                        |
|--------------|------------------------|
| $d_1$ 120 mm | Diametro albero        |
| D 140 mm     | Diametro foro supporto |
| b 12 mm      | Larghezza di tenuta    |

Figura 228: Caratteristiche tecniche dei paraoli montati sull'albero 5

APPLICAZIONI E CONDIZIONI DI ESERCIZIO

|   |                  |
|---|------------------|
| Temperatura di esercizio                                | min. -40 °C      |
| Temperatura di esercizio                                | max. 100 °C      |
| Temperature di esercizio ammissibili, per brevi periodi | max. 120 °C      |
| Velocità dell'albero                                    | max. 1 832 r/min |
| Velocità superficiale albero                            | max. 11.32 m/s   |
| Variazione di pressione                                 | 0.03 N/mm        |

Figura 229: Caratteristiche tecniche dei paraoli montati sull'albero 5

## 8 Modellazione CAD 3D

Di seguito si riportano i modelli CAD 3D del riduttore realizzati con il software SOLIDWORKS.

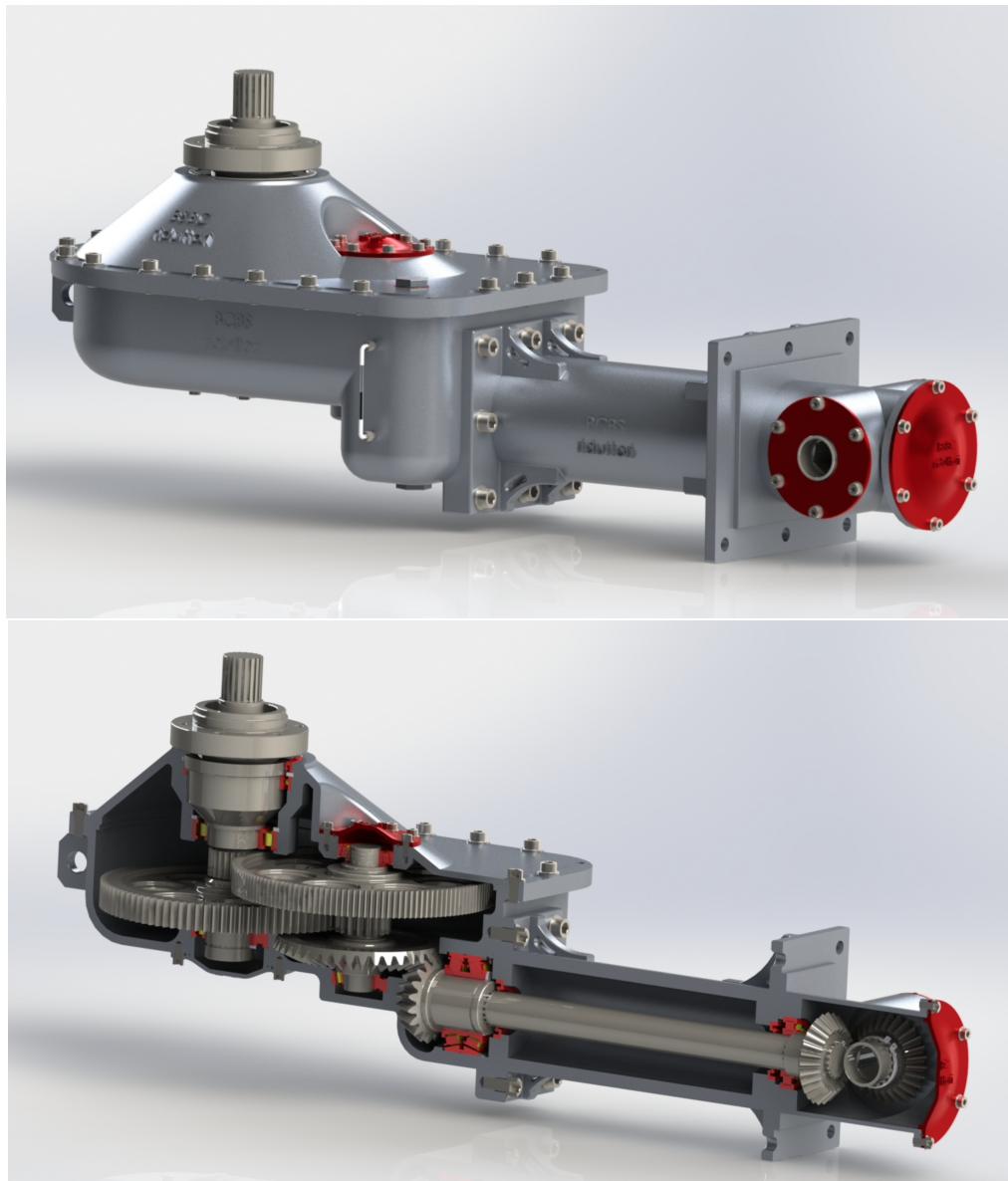


Figura 230: Rendering riduttore modellato tramite software SOLIDWORKS

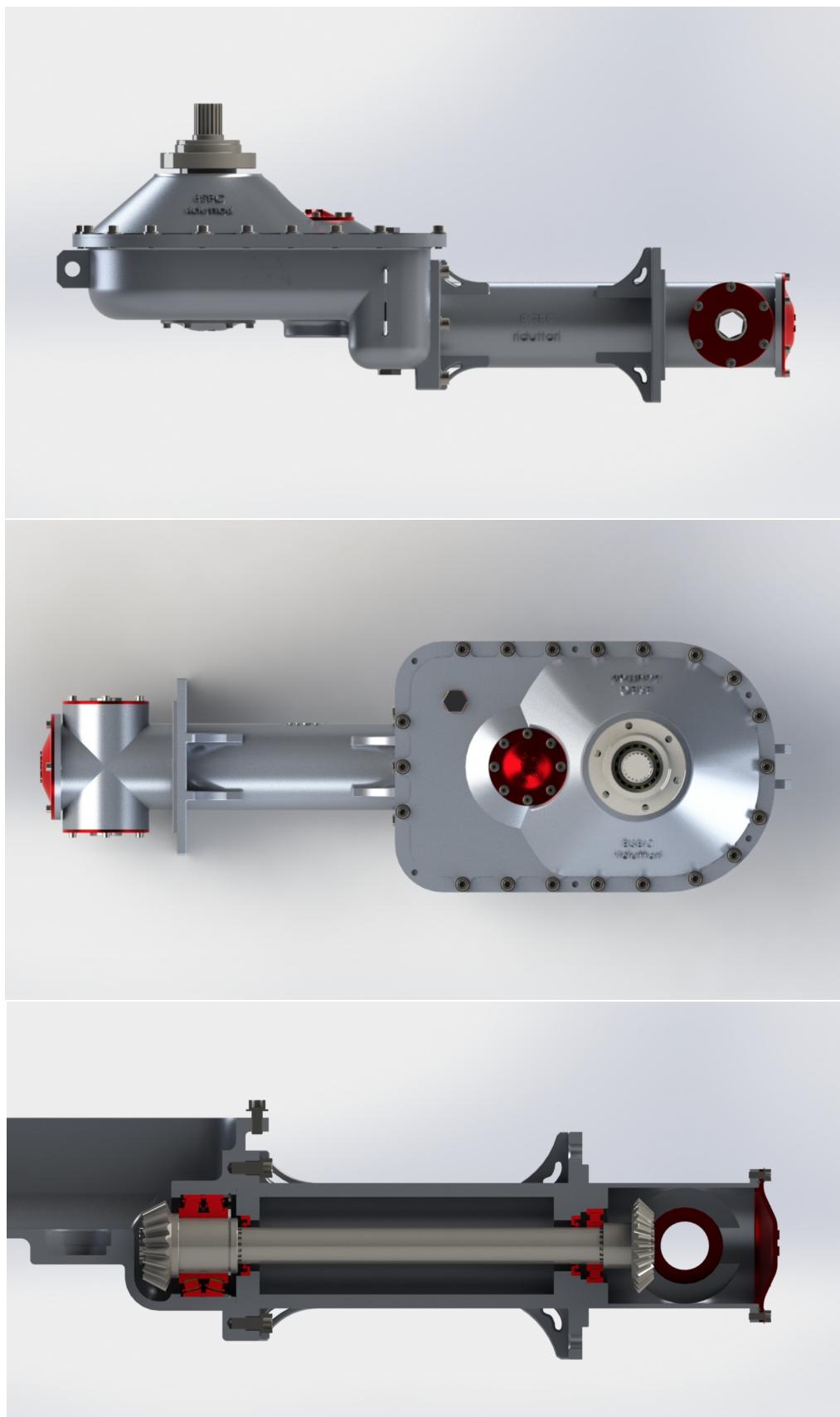


Figura 231: Rendering riduttore modellato tramite software SOLIDWORKS

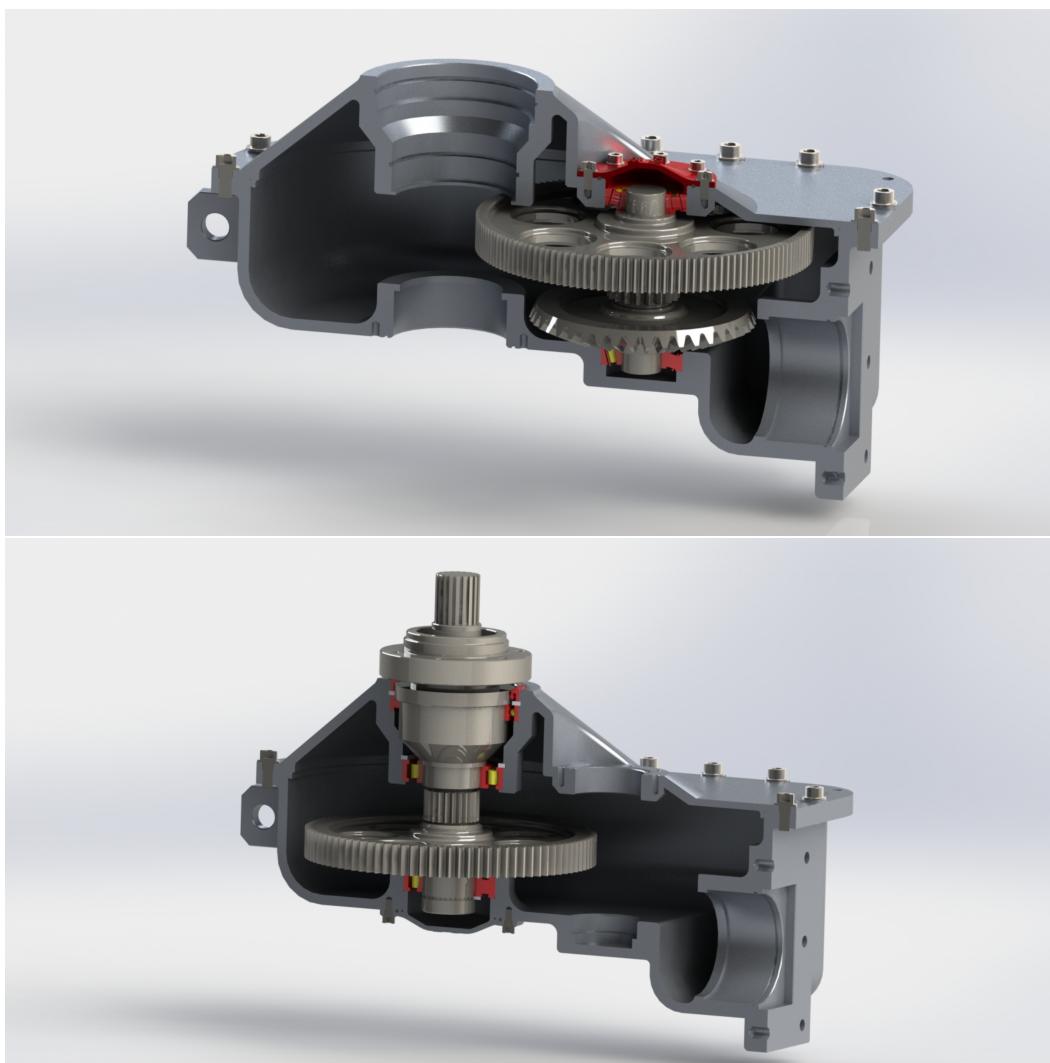


Figura 232: Rendering riduttore modellato tramite software SOLIDWORKS

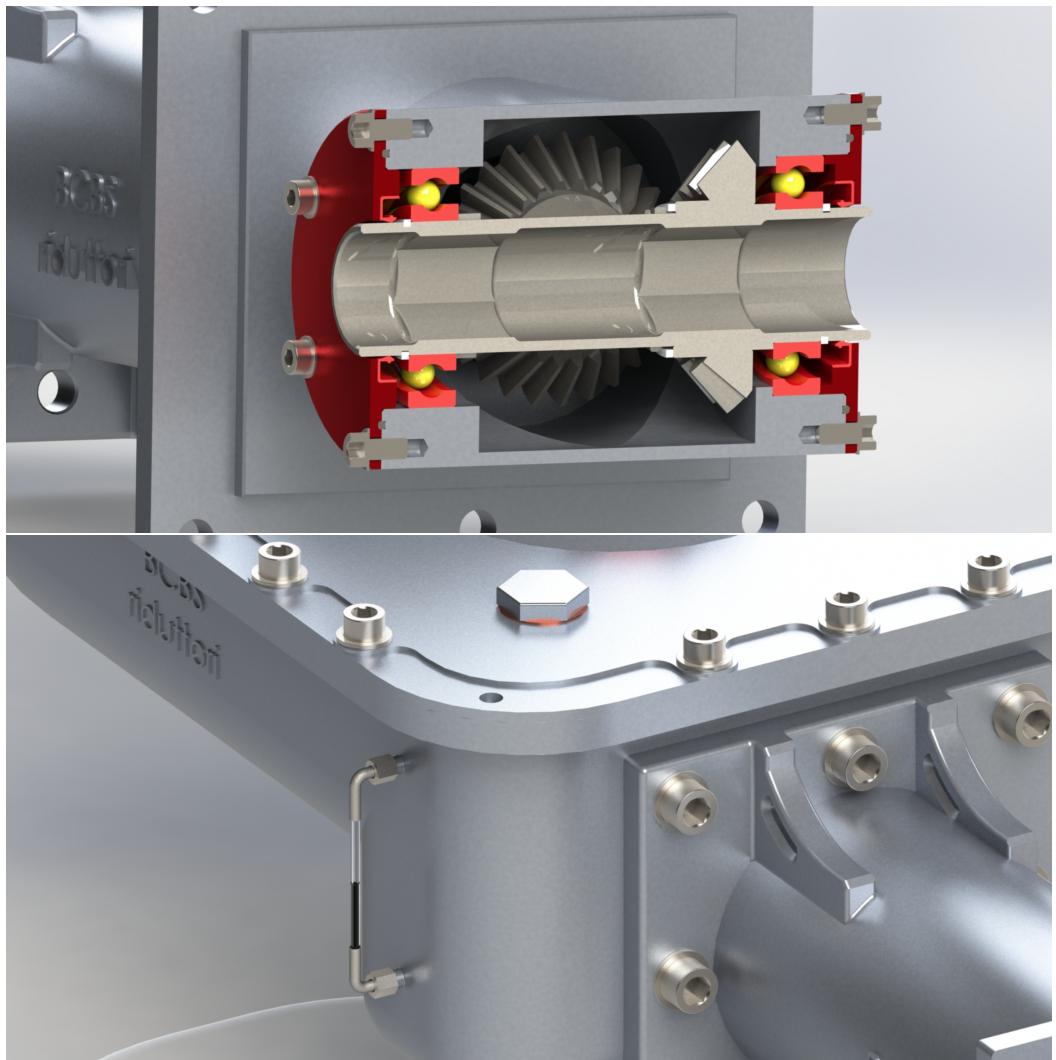


Figura 233: Rendering riduttore modellato tramite software SOLIDWORKS

## 9 Messa in tavola di un ingranaggio ed un albero a scelta

Si riporta di seguito la messa in tavola dell'albero 4.

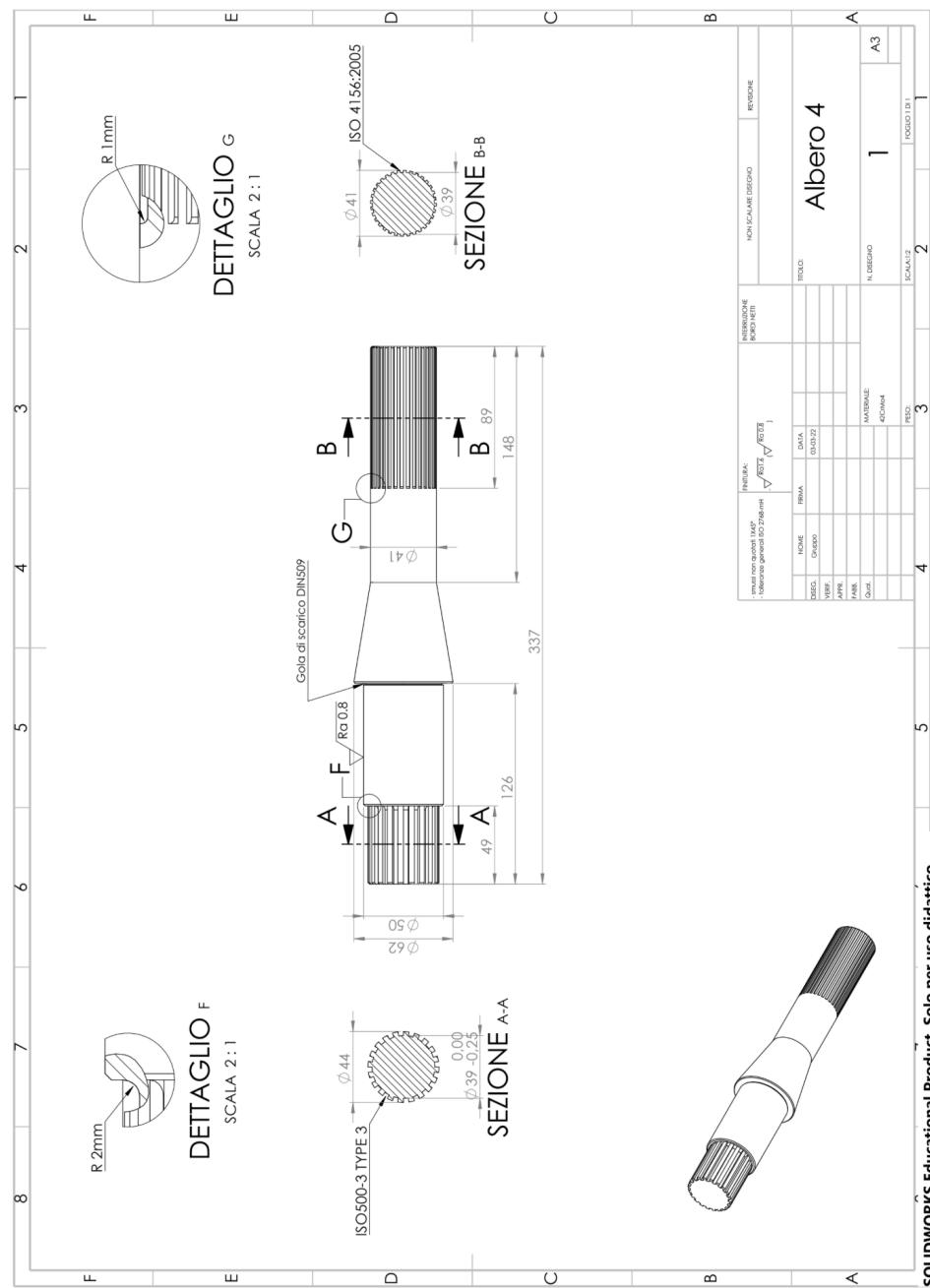


Figura 234: Messa in tavola dell'albero 4

Si riporta di seguito la messa in tavola della ruota 6.

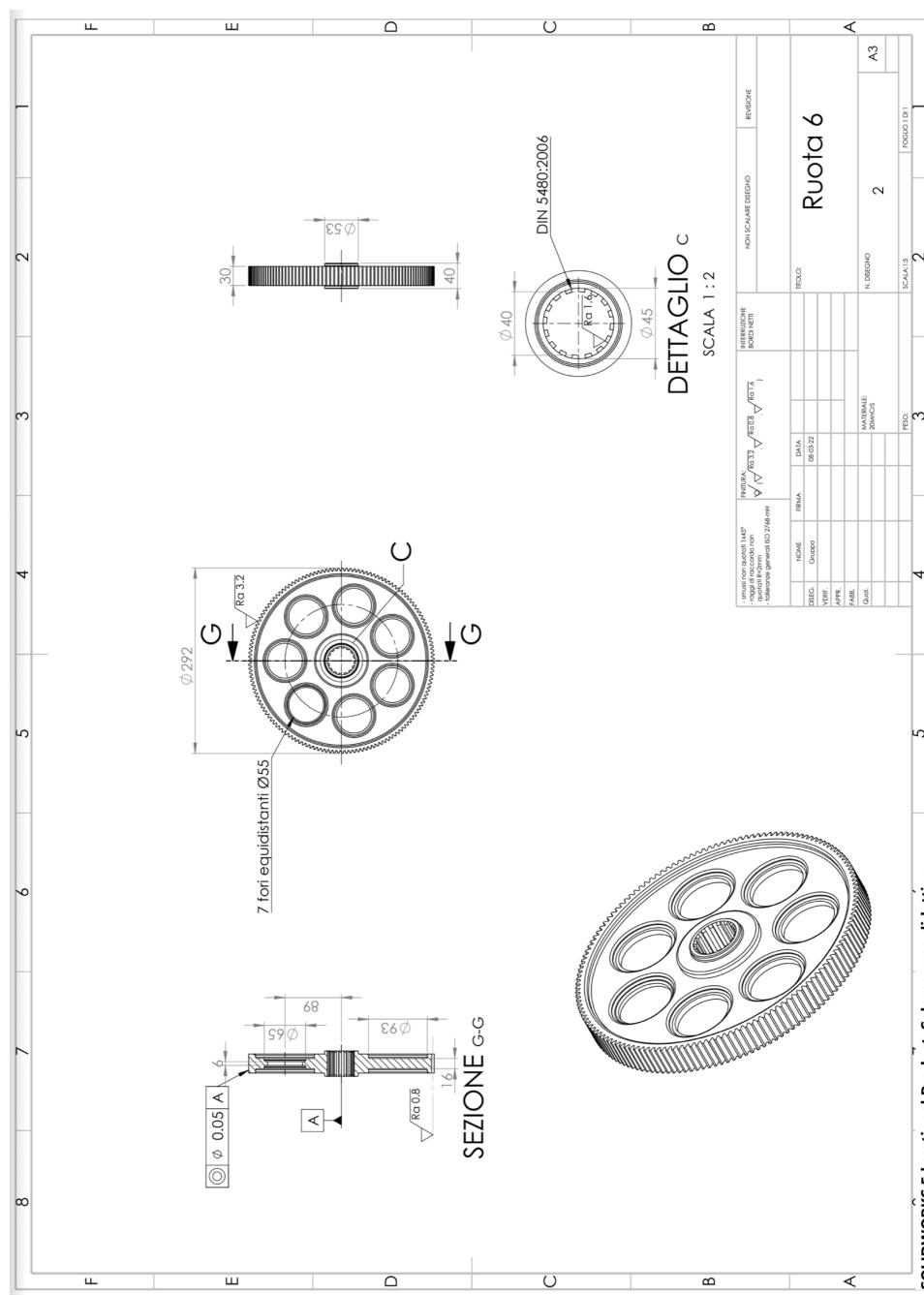


Figura 235: Messa in tavola della ruota 6

## Riferimenti bibliografici

- [1] R.C. Juvinall. *Fundamentals of Machine Component Design*. Wiley, 1983.
- [2] G. Manfè, R. Pozza, and G. Scarato. *Disegno Meccanico: corso completo in tre volumi*. Number v. 1,v. 2,v. 3. Principato, 1983.
- [3] SKF. Catalogo cuscinetti volventi.
- [4] SKF. Catalogo tenute rotanti.