

## Gara nazionale di Meccanica 2014

### Prova di Meccanica

L'impianto schematizzato in figura serve per riempire d'acqua dei serbatoi cilindrici (diametro interno 1500 mm, lunghezza utile interna 2500 mm). Esso è costituito da una tubazione avente diametro interno pari ad 80 mm e da una elettropompa centrifuga monostadio Calpeda NM 50/25B.

Il punto A corrisponde all'inizio della tubazione, i punti B e C sono rispettivamente l'aspirazione e la mandata della pompa, D è la valvola di regolazione, E ed F sono curve a 90° ed G è la sezione finale della condotta.

Le lunghezze dei tratti di condotta sono: AB=20m; CE=60m; EG=20m.

Per la tubazione si assume, cautelativamente, un valore di rugosità assoluta pari a 0.32 mm, per tener conto di possibili future incrostazioni. Si può ipotizzare, semplificando, un moto in regime completamente turbolento, indipendentemente dal numero di Reynolds.

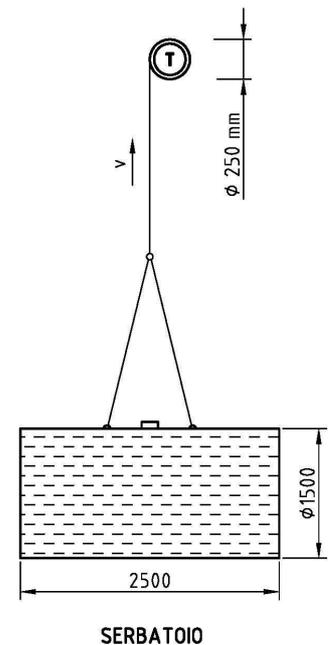
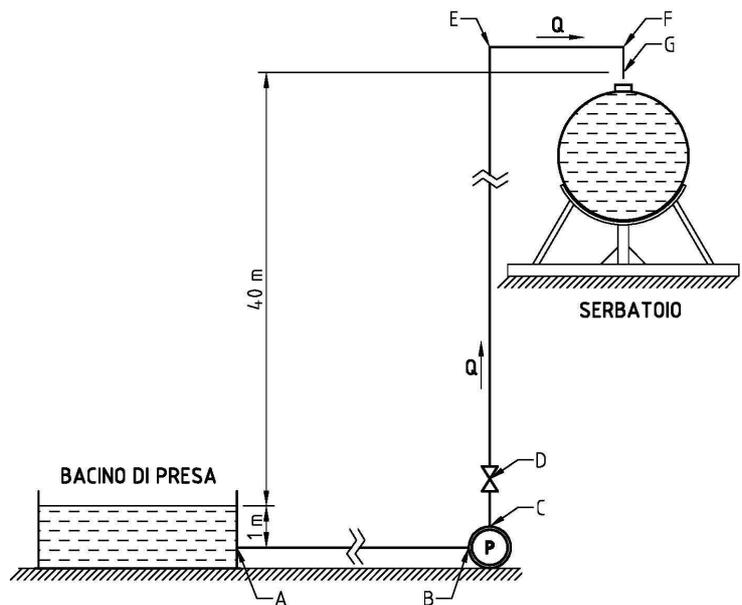
Si considerino i seguenti valori del coefficiente di resistenza localizzata:

- imbocco tubazione (punto A):  $k_L=0.5$ ;
- valvola di regolazione D completamente aperta:  $k_L=0.4$ ;
- curva a 90° (punti E ed F):  $k_L=0.6$ .

Per la determinazione del fattore d'attrito si utilizzi l'allegato diagramma di

Moody o, in alternativa, la formula di Colebrook:  $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left( \frac{\varepsilon}{3.71D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$ .

Dopo essere stato riempito, il serbatoio viene movimentato tramite un apparecchio di sollevamento costituito da un tamburo di avvolgimento T di diametro pari a 250 mm collegato, tramite un riduttore, ad un motore asincrono trifase a 12 poli (frequenza di rete pari a 50 Hz) con scorrimento del 5%.



Il riduttore è costituito da un ingranaggio conico a denti dritti e due ingranaggi cilindrici a denti elicoidali. Le caratteristiche delle ruote dentate sono riportate nella seguente tabella (angolo di pressione 20°):

ruota	tipo	angolo di avvolgimento dell'elica	modulo (mm)	numero denti	larghezza dentatura (mm)
R1	conica a denti dritti	0	4.0	20	50.0
R2	conica a denti dritti	0	4.0	67	50.0
R3	cilindrica a denti elicoidali	15° destra	5.0	20	60.0
R4	cilindrica a denti elicoidali	15° sinistra	5.0	63	60.0
R5	cilindrica a denti elicoidali	15° sinistra	6.0	19	90.0
R6	cilindrica a denti elicoidali	15° destra	6.0	50	90.0

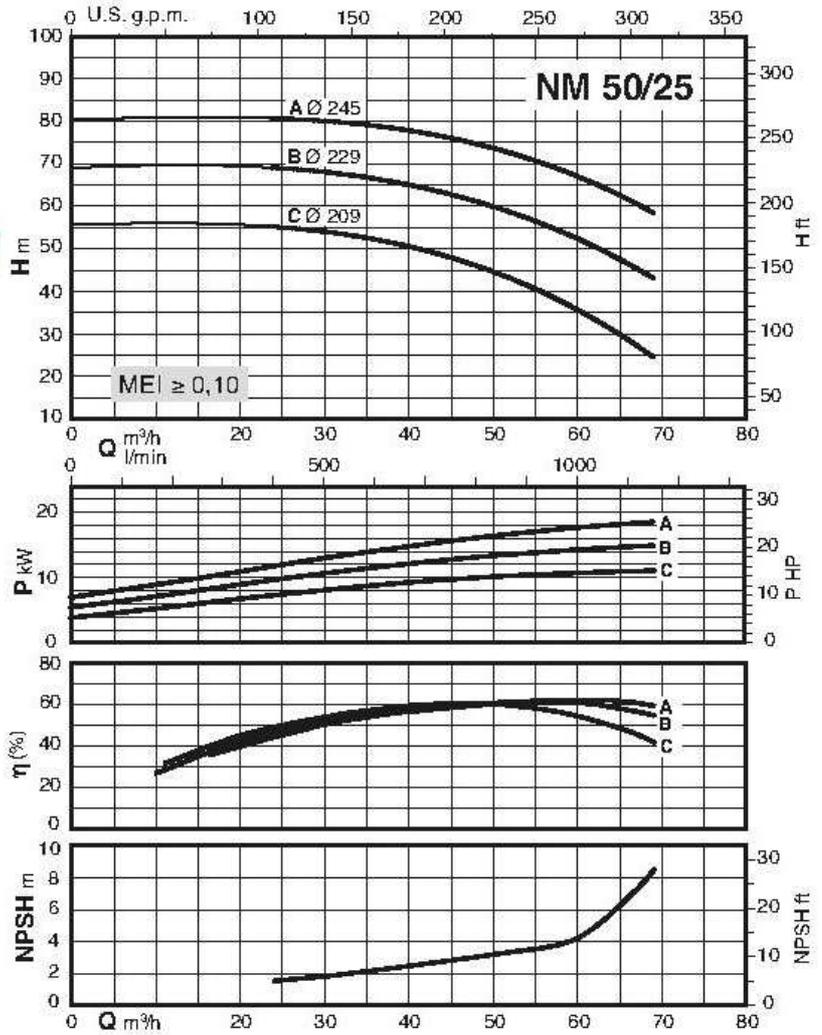
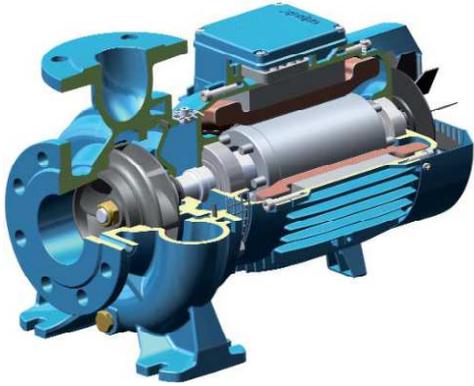
Si consideri il peso della struttura del serbatoio pari al 10% del peso dell'acqua in esso contenuta e si trascurino le perdite per attrito nel riduttore.

Dopo aver fissato con motivato criterio i dati eventualmente mancanti, il concorrente, relativamente alla parte idraulica:

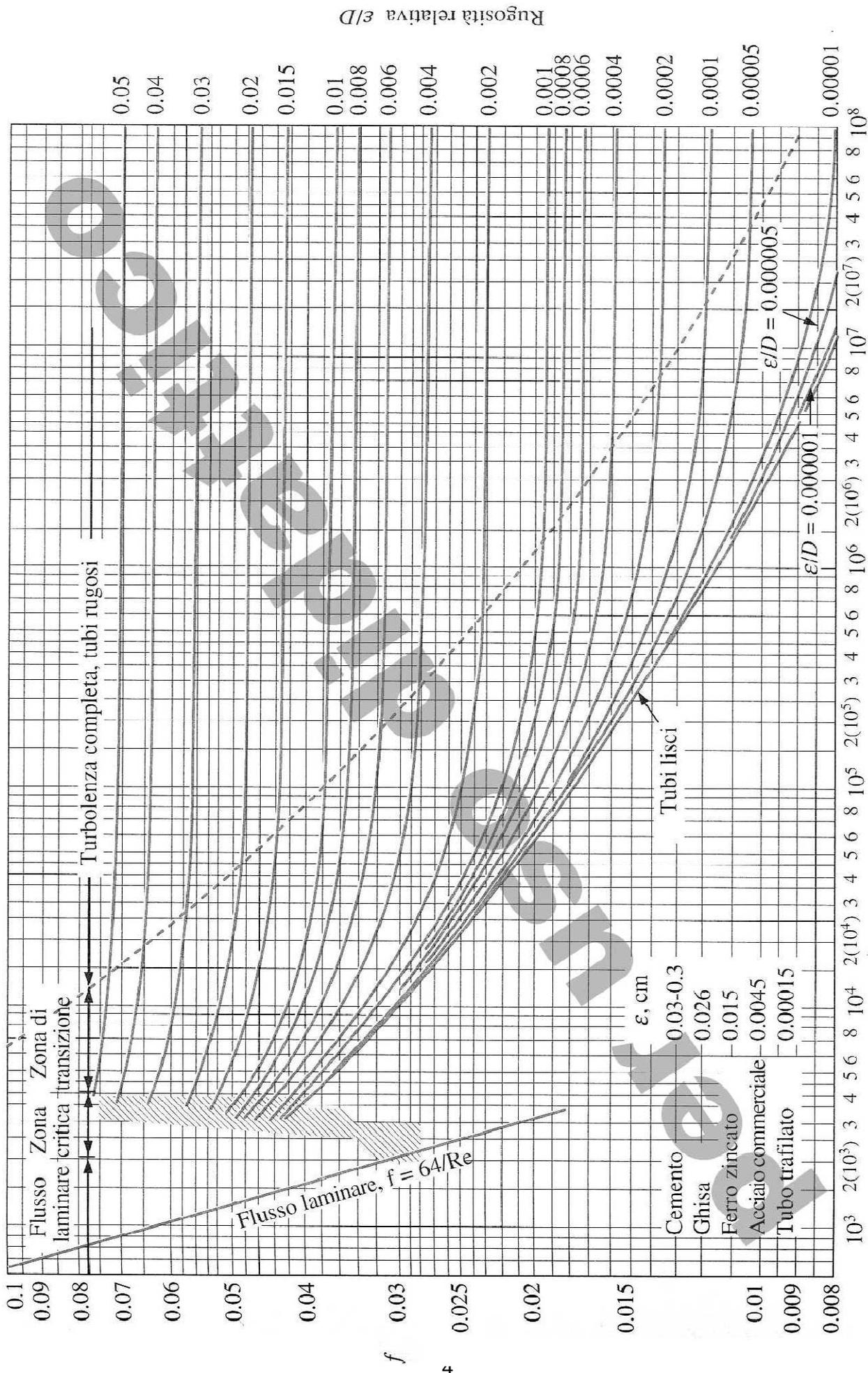
1. determini analiticamente il tempo necessario per riempire il serbatoio con valvola D completamente aperta, utilizzando i dati numerici riportati nella tabella della curva caratteristica della pompa ed interpolando linearmente il tratto compreso tra due punti adiacenti;
2. calcoli le perdite di carico complessive e verifichi, in corrispondenza del punto di funzionamento, la coerenza dei valori di potenza e rendimento riportati nei grafici;
3. verifichi la pompa rispetto alla cavitazione, considerando un valore massimo della temperatura dell'acqua nella tubazione pari a 40°C.

Inoltre, con riferimento al riduttore nella fase di sollevamento a velocità costante e trascurando il suo peso proprio, il concorrente:

4. calcoli la durata in ore dei cuscinetti C3 (SKF radiale ad una corona di sfere 45X100x25 – cod.6309) e C4 (SKF radiale ad una corona di sfere 40X90x23 – cod.6308) con probabilità di rottura del 10%; sulla base dei risultati ottenuti esprima una valutazione sulla scelta dei cuscinetti operata dal progettista del riduttore;
5. rappresenti i diagrammi di sollecitazione (taglio, torsione, flessione, sforzo normale) relativamente all'albero di rinvio A2;
6. calcoli la tensione ideale secondo Von Mises nelle sezioni dell'albero di rinvio A2 in cui sono calettate R2 ed R3, trascurando il solo contributo dovuto allo sforzo di taglio.



B-NM	NM	P <sub>2</sub>		Q	H m																
		kW	HP		24	27	30	33	37,8	42	48	54	60	66	69	72	75	78	81	84	
				l/min	400	450	500	550	630	700	800	900	1000	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	
B-NM 50/12F/A	NM 50/12F/B	2,2	3				15,5	15	14	13,5	12	10	8	6							
B-NM 50/12D/A	NM 50/12D/B	3	4				20	19,5	18,5	18	16,5	14,5	13	10,5	9	8					
B-NM 50/12A/A	NM 50/12A/B	4	5,5				24	24	23	22,5	21	19,5	17,5	15	14	12,5	11,5	10			
B-NM 50/12S/A	NM 50/12S/B	4	5,5				26,5	26	25,5	24,5	23,5	22	20	18	16,5	15,5	14	13	11		
B-NM 50/160B/B	NM 50/16B/B	5,5	7,5				31	30,5	29,5	28	26	24	21,5	19	17,5	15,5	13,5	11,5	9,5		
B-NM 50/160A/B	NM 50/16A/B	7,5	10				38,5	38	37,5	36,5	34,5	32,5	30	27	25,5	24	22,5	20,5	19		
B-NM 50/200B/B	NM 50/20B/B	9,2	12,5				48	47,5	47,5	47	45,5	44,5	42,5	40	37	33	30,5	28	25,5	23	
B-NM 50/200A/B	NM 50/20A/B	11	15				55	55	54,5	54,5	53,5	52	50	48	45	41,5	39,5	37	35	32,5	
B-NM 50/200S/B	NM 50/20S/B	15	20				60	60	59,5	59,5	58,5	57,5	55,5	53,5	50,5	47	45	43	40,5	37	
B-NM 5025/C/B	NM 50/25C/B	11	15				55	54,5	54	53	51,5	49,5	46	41,5	35,5	28,5	24,5				
B-NM 5025/B/B	NM 50/25B/B	15	20				69	68,5	68	67,5	66	64	61	57	52,5	46,5	43				
B-NM 5025/A/B	NM 50/25A/B	18,5	25				80,5	80,5	80	79,5	78,5	77	74,5	71,5	67	61,5	58,5				
B-NM 5025/65E/A	NM 50M/E/A	11	15					48	47,5	47	46	45	43	40	37	32	29,5	27	24		
B-NM 5025/65D/A	NM 50M/D/A	15	20					57	56,5	56	55	53	51	48	44,5	42	39,5	37	32	29	25*
B-NM 5025/65C/A	NM 50M/C/A	18,5	25					68	67,5	67	66,5	65	63	61	58	56	53,5	51,5	48	45,5	42*

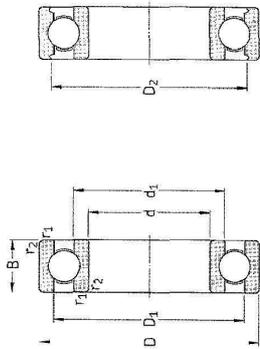


## TABELLA TENSIONE DI VAPORE $p_s$ E DENSITÀ $\rho$ DELL'ACQUA

t °C	T K	$p_s$ bar	$\rho$ kg/dm <sup>3</sup>	t °C	T K	$p_s$ bar	$\rho$ kg/dm <sup>3</sup>	t °C	T K	$p_s$ bar	$\rho$ kg/dm <sup>3</sup>
0	273,15	0,00611	0,9998	55	328,15	0,15741	0,9857	120	393,15	1,9854	0,9429
1	274,15	0,00657	0,9999	56	329,15	0,16511	0,9852	122	395,15	2,1145	0,9412
2	275,15	0,00706	0,9999	57	330,15	0,17313	0,9846	124	397,15	2,2504	0,9396
3	276,15	0,00758	0,9999	58	331,15	0,18147	0,9842	126	399,15	2,3933	0,9379
4	277,15	0,00813	1,0000	59	332,15	0,19016	0,9837	128	401,15	2,5435	0,9362
5	278,15	0,00872	1,0000	60	333,15	0,1992	0,9832	130	403,15	2,7013	0,9346
6	279,15	0,00935	1,0000	61	334,15	0,2086	0,9826	132	405,15	2,867	0,9328
7	280,15	0,01001	0,9999	62	335,15	0,2184	0,9821	134	407,15	3,041	0,9311
8	281,15	0,01072	0,9999	63	336,15	0,2286	0,9816	136	409,15	3,223	0,9294
9	282,15	0,01147	0,9998	64	337,15	0,2391	0,9811	138	411,15	3,414	0,9276
10	283,15	0,01227	0,9997	65	338,15	0,2501	0,9805	140	413,15	3,614	0,9258
11	284,15	0,01312	0,9997	66	339,15	0,2615	0,9799	145	418,15	4,155	0,9214
12	285,15	0,01401	0,9996	67	340,15	0,2733	0,9793	155	428,15	5,433	0,9121
13	286,15	0,01497	0,9994	68	341,15	0,2856	0,9788	160	433,15	6,181	0,9073
14	287,15	0,01597	0,9993	69	342,15	0,2984	0,9782	165	438,15	7,008	0,9024
15	288,15	0,01704	0,9992	70	343,15	0,3116	0,9777	170	443,15	7,920	0,8973
16	289,15	0,01817	0,9990	71	344,15	0,3253	0,9770	175	448,15	8,924	0,8921
17	290,15	0,01936	0,9988	72	345,15	0,3396	0,9765	180	453,15	10,027	0,8869
18	291,15	0,02062	0,9987	73	346,15	0,3543	0,9760	185	458,15	11,233	0,8815
19	292,15	0,02196	0,9985	74	347,15	0,3696	0,9753	190	463,15	12,551	0,8760
20	293,15	0,02337	0,9983	75	348,15	0,3855	0,9748	195	468,15	13,987	0,8704
21	294,15	0,24850	0,9981	76	349,15	0,4019	0,9741	200	473,15	15,550	0,8647
22	295,15	0,02642	0,9978	77	350,15	0,4189	0,9735	205	478,15	17,243	0,8588
23	296,15	0,02808	0,9976	78	351,15	0,4365	0,9729	210	483,15	19,077	0,8528
24	297,15	0,02982	0,9974	79	352,15	0,4547	0,9723	215	488,15	21,060	0,8467
25	298,15	0,03166	0,9971	80	353,15	0,4736	0,9716	220	493,15	23,198	0,8403
26	299,15	0,03360	0,9968	81	354,15	0,4931	0,9710	225	498,15	25,501	0,8339
27	300,15	0,03564	0,9966	82	355,15	0,5133	0,9704	230	503,15	27,976	0,8273
28	301,15	0,03778	0,9963	83	356,15	0,5342	0,9697	235	508,15	30,632	0,8205
29	302,15	0,04004	0,9960	84	357,15	0,5557	0,9691	240	513,15	33,478	0,8136
30	303,15	0,04241	0,9957	85	358,15	0,5780	0,9684	245	518,15	36,523	0,8065
31	304,15	0,04491	0,9954	86	359,15	0,6011	0,9678	250	523,15	39,776	0,7992
32	305,15	0,04753	0,9951	87	360,15	0,6249	0,9671	255	528,15	43,246	0,7916
33	306,15	0,05029	0,9947	88	361,15	0,6495	0,9665	260	533,15	46,943	0,7839
34	307,15	0,05318	0,9944	89	362,15	0,6749	0,9658	265	538,15	50,877	0,7759
35	308,15	0,05622	0,9940	90	363,15	0,7011	0,9652	270	543,15	55,058	0,7678
36	309,15	0,05940	0,9937	91	364,15	0,7281	0,9644	275	548,15	59,496	0,7593
37	310,15	0,06274	0,9933	92	365,15	0,7561	0,9638	280	553,15	64,202	0,7505
38	311,15	0,06624	0,9930	93	366,15	0,7849	0,9630	285	558,15	69,186	0,7415
39	312,15	0,06991	0,9927	94	367,15	0,8146	0,9624	290	563,15	74,461	0,7321
40	313,15	0,07375	0,9923	95	368,15	0,8453	0,9616	295	568,15	80,037	0,7223
41	314,15	0,07777	0,9919	96	369,15	0,8769	0,9610	300	573,15	85,927	0,7122
42	315,15	0,08198	0,9915	97	370,15	0,9094	0,9602	305	578,15	92,144	0,7017
43	316,15	0,09639	0,9911	98	371,15	0,9430	0,9596	310	583,15	98,70	0,6906
44	317,15	0,09100	0,9907	99	372,15	0,9776	0,9586	315	588,15	105,61	0,6791
45	318,15	0,09582	0,9902	100	373,15	1,0133	0,9581	320	593,15	112,89	0,6669
46	319,15	0,10086	0,9898	102	375,15	1,0878	0,9567	325	598,15	120,56	0,6541
47	320,15	0,10612	0,9894	104	377,15	1,1668	0,9552	330	603,15	128,63	0,6404
48	321,15	0,11162	0,9889	106	379,15	1,2504	0,9537	340	613,15	146,05	0,6102
49	322,15	0,11736	0,9884	108	381,15	1,3390	0,9522	350	623,15	165,35	0,5743
50	323,15	0,12335	0,9880	110	383,15	1,4327	0,9507	360	633,15	186,75	0,5275
51	324,15	0,12961	0,9876	112	385,15	1,5316	0,9491	370	643,15	210,54	0,4518
52	325,15	0,13613	0,9871	114	387,15	1,6362	0,9476	374,15	647,30	221,20	0,3154
53	326,15	0,14293	0,9862	116	389,15	1,7465	0,9460				
54	327,15	0,15002	0,9862	118	391,15	1,8628	0,9445				

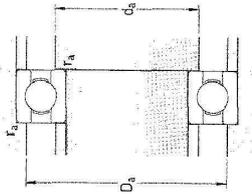


Cuscinetti radiali ad una corona di sfere  
d. 40 - 60 mm



Dimensioni principali			Coeff. di carico dinam. C	Coeff. di carico stat. C <sub>0</sub>	Carico limite di fatica P <sub>0</sub>	Velocità di base di refenza	Velocità di base limite	Massa	Appellativi
d	D	B							
40	52	7	4,94	3,45	0,19	26 000	16 000	0,034	61808
	62	12	13,8	10	0,43	24 000	14 000	0,12	61908
	68	9	13,8	9,15	0,44	22 000	14 000	0,13	*16008
	80	15	17,8	11,6	0,49	22 000	14 000	0,19	*6008
	80	18	32,5	19	0,80	18 000	11 000	0,37	*6208 ETN9
	80	18	35,8	20,8	0,88	18 000	11 000	0,34	*6208 ETN9
	90	23	42,3	24	1,02	17 000	11 000	0,63	*6308
	110	27	63,7	36,5	1,53	14 000	9 000	1,25	6408
45	58	7	6,63	6,1	0,26	22 000	14 000	0,040	61809
	58	12	14,5	10,8	0,47	20 000	13 000	0,17	61909
	75	10	15,1	11,2	0,48	20 000	13 000	0,17	*4009
	85	16	25,1	17,6	0,74	17 000	11 000	0,35	*6209
	85	16	25,1	17,6	0,74	17 000	11 000	0,35	*6209
	100	25	55,3	31,5	1,34	15 000	9 500	0,83	*6309
	120	29	76,1	45	1,90	13 000	8 500	1,55	6409
50	65	7	6,76	6,8	0,285	20 000	13 000	0,052	61810
	72	12	14,6	11,8	0,50	19 000	12 000	0,14	61910
	80	10	16,8	11,4	0,56	18 000	11 000	0,18	*16010
	80	16	22,9	16	0,71	18 000	11 000	0,26	*6010
	90	20	37,1	23,2	0,98	15 000	10 000	0,46	*6210
	110	27	65	38	1,6	13 000	8 500	1,05	*6310
	130	31	87,1	52	2,2	12 000	7 500	1,9	6410
55	72	9	9,04	8,8	0,38	19 000	12 000	0,083	61811
	80	13	16,5	14	0,60	17 000	11 000	0,19	61911
	90	11	20,3	14	0,70	16 000	10 000	0,26	*16011
	90	18	29,6	21,2	0,90	16 000	10 000	0,39	*6011
	100	21	46,2	29	1,28	14 000	9 000	0,61	*6211
	120	29	74,1	45	1,90	12 000	8 000	1,35	*6311
	140	33	99,5	62	2,60	11 000	7 000	2,3	6411
60	78	10	11,9	11,4	0,49	17 000	11 000	0,11	61812
	85	13	16,5	15,3	0,74	16 000	11 000	0,20	61912
	95	11	20,9	15,2	0,80	15 000	9 500	0,28	*16012
	95	17	30,7	23,2	0,98	15 000	9 500	0,42	*6012
	110	25	55,3	36	1,53	13 000	8 000	0,78	*6212
	130	31	85,2	52	2,20	11 000	7 000	1,7	*6312
	150	35	108	69,5	2,90	10 000	6 300	2,75	6412

\* Cuscinetto SKF Explorer



Dimensioni	Dimensioni delle parti che accolgono il cuscinetto						Elementi per il calcolo			
	d	d <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	r <sub>1,2</sub> min	d <sub>a</sub> min	d <sub>a</sub> max	r <sub>3</sub> max	k	f <sub>0</sub>
40	43,7	48,5	-	-	0,3	42	50	0,3	0,015	14
	46,9	55,1	-	-	0,6	43,2	58,8	0,6	0,02	16
	49,4	58,6	-	-	0,3	42	66	0,3	0,02	14
	52,6	67,4	61,1	67,8	1,1	44,6	65,4	1	0,025	15
	52,6	67,4	61,1	67,8	1,1	47	73	1	0,025	14
	52,1	73,8	77,7	86,7	1,5	49	81	1,5	0,025	13
	62,8	87	-	-	2	53	97	2	0,035	12
45	49,1	53,9	-	-	0,3	47	56	0,3	0,015	17
	52,4	60,6	-	-	0,6	48,2	64,8	0,6	0,02	16
	55	65,4	-	-	0,6	48,2	71,8	0,6	0,02	14
	54,8	65,3	67,8	75,2	1,1	50,8	69,2	1	0,025	15
	57,6	72,4	75,2	86,7	1,5	52	78	1,5	0,025	14
	62,2	82,7	86,7	95,8	2	54	91	1,5	0,03	13
	68,9	95,8	-	-	2	58	107	2	0,035	12
50	55,1	59,9	-	-	0,3	52	63	0,3	0,015	17
	56,9	65,1	-	-	0,6	53,2	68,8	0,6	0,02	16
	60	70	-	-	0,6	53,2	76,8	0,6	0,02	14
	59,8	70,3	72,8	81,6	1,1	54,6	75,4	1	0,025	15
	62,5	77,4	81,6	95,2	1,5	57	83	1,5	0,025	14
	68,8	91,1	95,2	104	2	61	99	2	0,03	13
	75,5	104	-	-	2,1	64	116	2	0,035	12
55	60,6	66,4	-	-	0,3	57	70	0,3	0,015	17
	63,2	71,8	-	-	0,6	58,6	75,4	0,6	0,02	16
	64,3	76,1	81,5	89,7	1,1	58,2	86,8	1,1	0,025	15
	66,3	85,8	89,7	104	1,5	61	94	1,5	0,025	14
	75,1	99,5	104	115	2,1	64	109	2,1	0,03	13
	81,9	115	-	-	2,1	69	126	2	0,035	12
60	65,6	72,4	-	-	0,3	62	76	0,3	0,015	17
	68,2	76,8	-	-	0,6	64,6	80,4	0,6	0,02	16
	72	83	-	-	0,6	63,2	91,8	0,6	0,02	14
	71,3	83,7	86,5	98	1,1	66	89	1,1	0,025	16
	75,5	94,6	98	112	1,5	69	101	1,5	0,025	14
	81,9	108	112	122	2,1	72	118	2,1	0,03	13
	88,1	122	-	-	2,1	74	136	2	0,035	12

dove

$F_{rm}$  = carico radiale minimo, kN

$k_r$  = fattore di carico minimo  
(→ tabelle dei prodotti)

$v$  = viscosità dell'olio alla temperatura di esercizio, mm<sup>2</sup>/s

$n$  = velocità di rotazione, giri/min

$d_m$  = diametro medio del cuscinetto  
= 0,5 (d + D), mm

In caso di avviamento a basse temperature o quando il lubrificante ha una viscosità elevata, può essere necessario un carico minimo di maggiore entità. Il peso dei componenti che gravano sul cuscinetto, insieme alle forze esterne, generalmente supera il carico minimo necessario. In caso contrario, il cuscinetto radiale a sfere deve essere sottoposto ad un carico radiale aggiuntivo. Nel caso di applicazioni con cuscinetti radiali a sfere, si può applicare un precarico assiale registrando gli anelli interni ed esterni l'uno contro l'altro, o utilizzando delle molle.

### Capacità di carico assiale

Se i cuscinetti radiali a sfere sono sottoposti ad un carico assiale puro, quest'ultimo non deve normalmente superare il valore di 0,5  $C_0$ . Nei cuscinetti di piccole dimensioni (diametri foro fino a circa 12 mm) e in quelli delle serie leggere (serie diametrali 8, 9, 0, e 1), il corrispondente limite è 0,25  $C_0$ . Carichi assiali eccessivi possono ridurre considerevolmente la durata del cuscinetto.

### Carico dinamico equivalente sul cuscinetto

$$P = F_r \quad \text{quando } F_a/F_r \leq e$$

$$P = X F_r + Y F_a \quad \text{quando } F_a/F_r > e$$

I fattori "e" ed "Y" dipendono dal rapporto  $f_0 F_a/C_0$ , in cui  $f_0$  è un fattore di calcolo (→ tabelle dei prodotti),  $F_a$  è la componente assiale del carico e  $C_0$  è il coefficiente di carico statico. Inoltre i fattori sono influenzati dall'entità del gioco radiale interno; un gioco maggiore consente di sopportare carichi assiali più elevati. Per i cuscinetti montati con gli abituali accoppiamenti, elencati nelle **tabelle 2, 4 e 5** nelle **pagine 159 a 161**, i valori di "e", "X" ed "Y" sono riportati nella **tabella 5**, di seguito. Se si sceglie un gioco maggiore di Normale, poiché si prevede una riduzione in funzionamento del gioco, si devono utilizzare i valori indicati nella sezione "Gioco Normale".

### Carico statico equivalente sul cuscinetto

$$P_0 = 0,6 F_r + 0,5 F_a$$

Se  $P_0 < F_r$ , si dovrà usare  $P_0 = F_r$ .

Tabella 5

Fattori di calcolo per i cuscinetti radiali ad una corona di sfere

$f_0 F_a/C_0$	Gioco Normale			Gioco C3			Gioco C4		
	e	X	Y	e	X	Y	e	X	Y
0,172	0,19	0,56	2,30	0,29	0,46	1,88	0,38	0,44	1,47
0,345	0,22	0,56	1,99	0,32	0,46	1,71	0,40	0,44	1,40
0,689	0,26	0,56	1,71	0,36	0,46	1,52	0,43	0,44	1,30
1,03	0,28	0,56	1,55	0,38	0,46	1,41	0,46	0,44	1,23
1,38	0,30	0,56	1,45	0,40	0,46	1,34	0,47	0,44	1,19
2,07	0,34	0,56	1,31	0,44	0,46	1,23	0,50	0,44	1,12
3,45	0,38	0,56	1,15	0,49	0,46	1,10	0,55	0,44	1,02
5,17	0,42	0,56	1,04	0,54	0,46	1,01	0,56	0,44	1,00
6,89	0,44	0,56	1,00	0,54	0,46	1,00	0,56	0,44	1,00

I valori intermedi si ottengono per interpolazione