17.5 Un esempio

Un cuscinetto a strisciamento, su un rotore di turbina a vapore da 1500 giri al minuto sopporta un acrico costante di 17 kN. Il diametro del perno è di 150 mm. Il cuscinetto è alimentato tramite lubrificazione forzata con un olio SAE 10, con temperatura di ingresso di 50°C. Determinare una combinazione idonea di lunghezza e gioco radiale del cuscinetto. Come conclusione determinare i valori di Coefficiente d'attrito, potenza dissipata, portata d'olio entrante (e uscente) nel cuscinetto e incremento della temperatura dell'olio.

Soluzione La lunghezza viene trovata in modo speditivo in base alla pressione specifica adatta per l'applicazione. Assunta una pressione specifica di 1.6 MPa, risulta una lunghezza di 70.83 mm, che si può arrotondare a 75 per avere un rapporto L/D = 1/2, più facile da trovare nei diagrammi di Raimondi-Boyd. Ovviamente in tal caso $p = 1.511$ MPa.

Dalla figura 111 si vede che l'intervallo ottimale è compreso tra $S = 0.032$ e $S = 0.35$, mentre la viscosità dinamica si ricava dalla fig. 106, con le formule di conversione riportate in didascalia. Ovviamente per l'uso di questo abaco occorre conoscere la temperatura media, che qui non è data; se ne ipotizza perciò un valore 'ragionevole', salvo correggere i risultati in una ulteriore iterazione. Nel caso in studio è opportuno prendere una temperatura media di 90 °C pari a 194 °F, cui corrisponde, per un olio SAE 10, una viscosità di 5.3×10^{-3} Pa s.

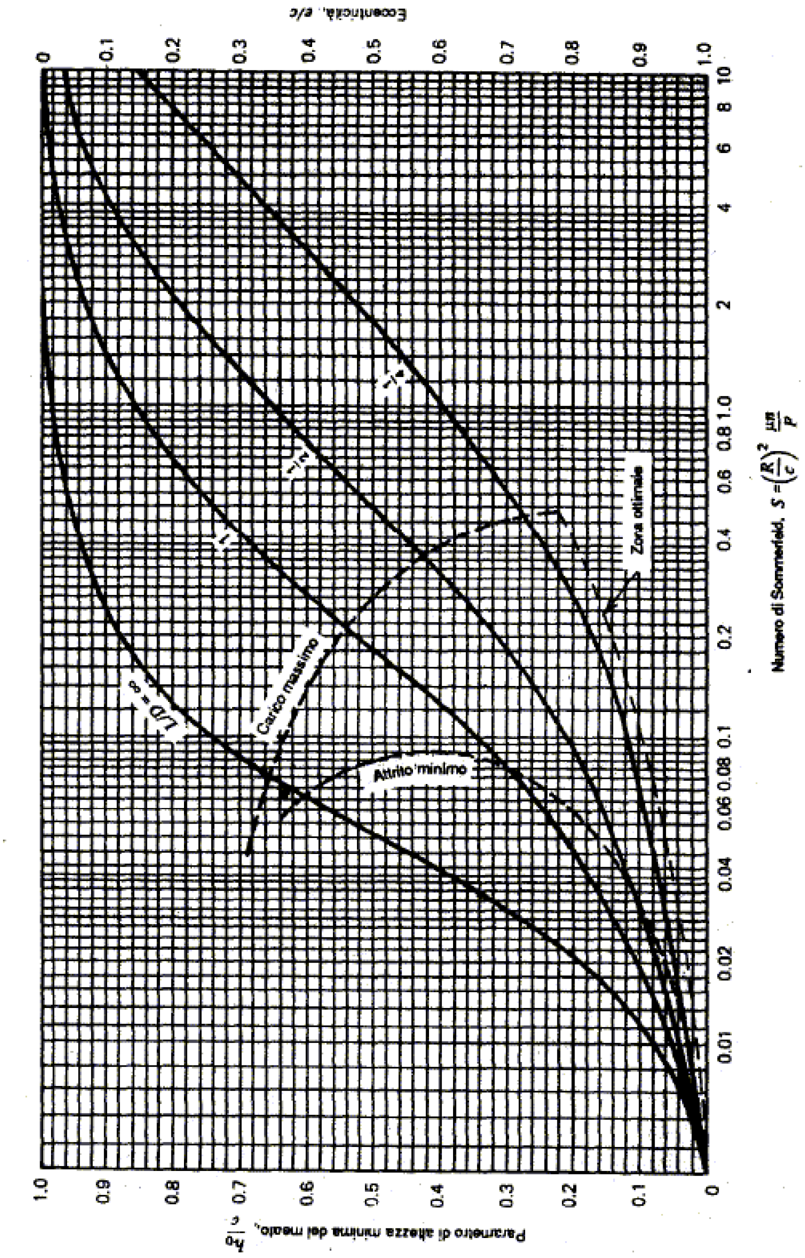

Figura 111: Altezza minima del meato

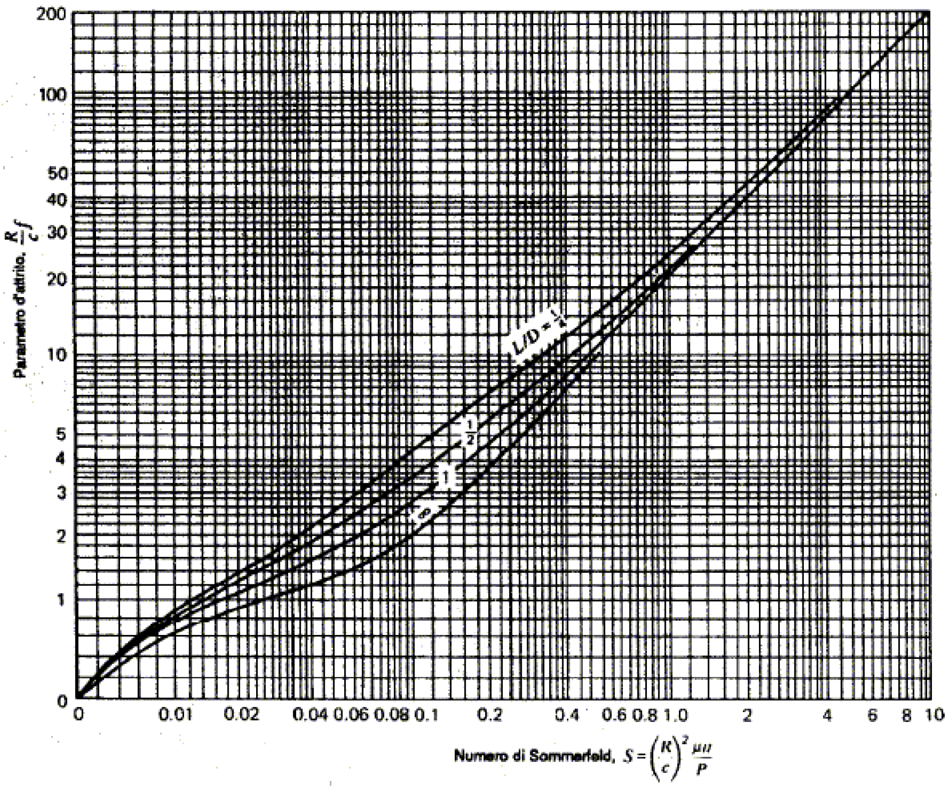

Figura 112: Parametro d'attrito

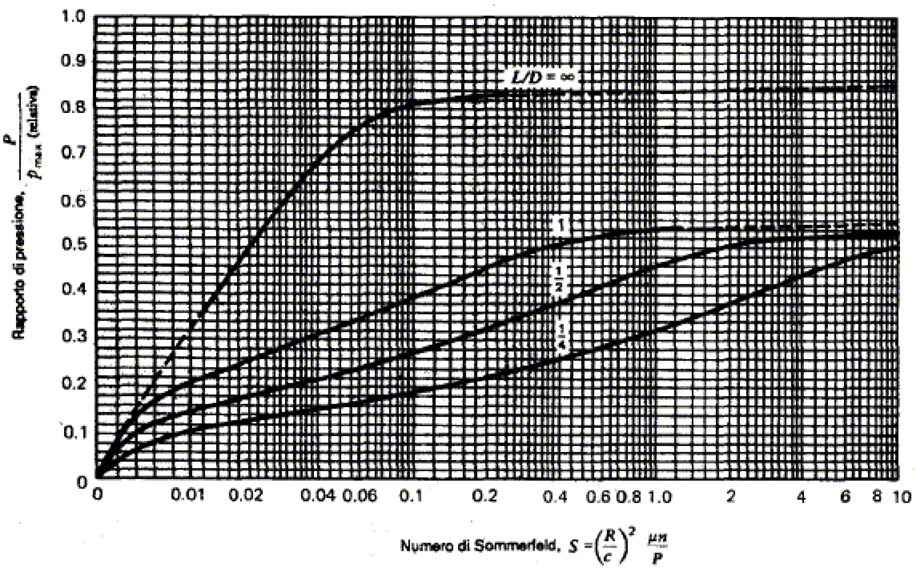

Figura 113: Pressione massima nel meato

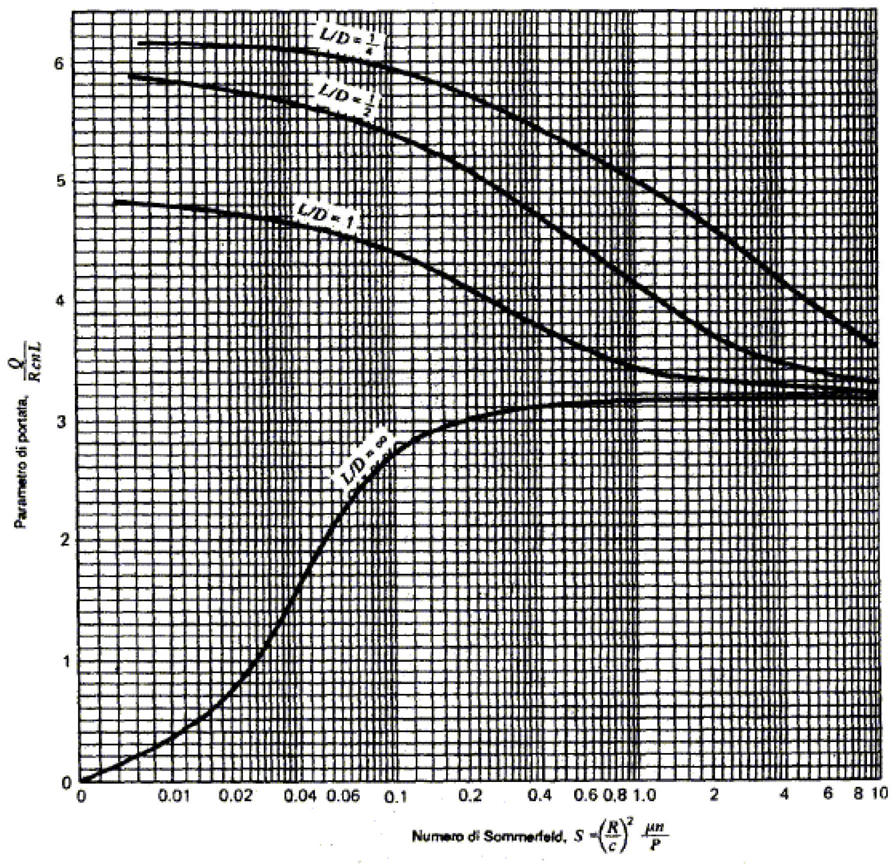

Figura 114: Parametro di portata

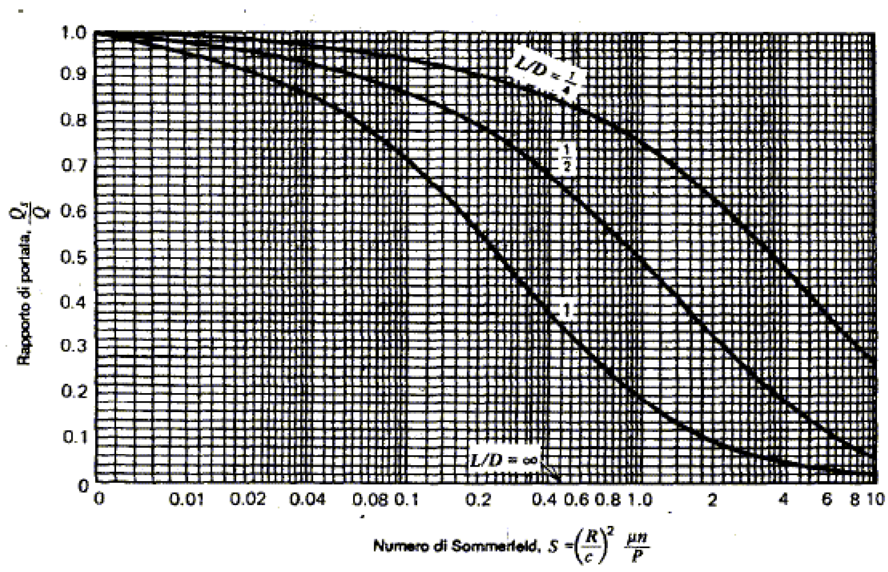

Figura 115: Rapporto di portata

Tabella 26: Calcoli di verifica di un cuscinetto

c/mm	S	h_0/c	h_0/mm	fR/c	f	$\frac{Q}{RcnL}$	$Q/\mathrm{mm^3 s^{-1}}$	Q_s/Q	$Q_s/\mathrm{mm^3 s^{-1}}$	$\frac{4\pi[f]}{[Q][Q_s]}$	ΔT/K
0.01	4.93	0.92	0.0092	100	0.019	3.4	9.6×10^3	0.15	1.44×10^3	2.46×10^3	2.8×10^3
0.02	1.23	0.70	0.014	25	0.0067	4.0	2.3×10^4	0.44	1.0×10^4	1.8×10^2	2.1×10^3
0.03	0.55	0.52	0.016	13	0.0052	4.5	3.8×10^4	0.64	2.4×10^4	57	65
0.0375	0.35	0.42	0.016	8.7	0.0044	4.8	4.7×10^4	0.71	3.3×10^4	32	36
0.04	0.31	0.40	0.016	8.0	0.0043	4.85	5.5×10^4	0.74	4.1×10^4	28	32
0.05	0.20	0.32	0.016	5.7	0.0038	5.1	7.2×10^4	0.80	5.8×10^4	17.6	20
0.06	0.137	0.25	0.015	4.5	0.0036	5.3	8.9×10^4	0.84	7.5×10^4	12.7	14
0.08	0.077	0.18	0.014	3.2	0.0034	5.45	1.2×10^5	0.88	1.1×10^5	8.4	9.5
0.10	0.049	0.14	0.014	2.1	0.0028	5.6	1.6×10^5	0.92	1.5×10^5	5.1	5.8
0.11	0.041	0.12	0.013	1.8	0.0026	5.6	1.7×10^5	0.92	1.6×10^5	4.4	5.0
0.12	0.034	0.11	0.013	1.7	0.0027	5.7	1.9×10^5	0.94	1.8×10^5	4.0	4.6
0.1242	0.032	0.10	0.012	1.6	0.0027	5.7	2.0×10^5	0.94	1.9×10^5	3.8	4.3
0.13	0.029	0.10	0.013	1.6	0.0028	5.7	2.1×10^5	0.94	2.0×10^5	3.8	4.3
0.14	0.025	0.09	0.013	1.4	0.0026	5.7	2.2×10^5	0.95	2.1×10^5	3.2	3.6
0.16	0.019	0.07	0.011	1.2	0.0026	5.75	2.6×10^5	0.96	2.5×10^5	2.7	3.0
0.18	0.015	0.06	0.011	1.0	0.0024	5.8	2.9×10^5	0.96	2.8×10^5	2.3	2.6

Dalla definizione del numero di Sommerfeld, si trova l'ampiezza c del meato:

$$c = R\sqrt{\frac{\mu n}{PS}}$$

che, nel caso del più piccolo dei due valori di S, dà:

$$c = 75 \text{ mm} \times \sqrt{\frac{5.3 \times 10^{-3} \text{ Pa s} \times 25 \text{ s}^{-1}}{1.511 \times 10^6 \text{ Pa} \times 0.032}} = 0.1242 \text{ mm}$$

e per il valore più grande

$$c = 0.0375 \text{ mm}$$

A questo punto, per vari valori del gioco radiale si calcolano vari gruppi adimensionali e le relative variabili. Tutto ciò è riportato nella tabella 26, con l'avvertenza che non è assolutamente necessaria una tale massa di calcoli, che qui sono stati fatti solo per scopo didattico. Dall'andamento delle variabili di progetto in funzione di c si vede che basta fare i calcoli al massimo per quattro o cinque valori di c.

Comunque, dall'innalzamento della temperatura calcolato si vede che la temperatura media ipotizzata di 90°C è esagerata, quindi i calcoli vanno ripetuti per una temperatura media più bassa e forse differenziata per i singoli valori di c.

Come conclusione appare chiaro che, dovendo scegliere i valori di S nell'intervallo ottimale, conviene mantenersi più vicino al valore che dà il minimo valore di f, per avere temperature più basse senza che la capacità di carico venga penalizzata troppo.

Tolleranze Una volta trovato l'intervallo ottimale per il gioco radiale — e in linea di massima conviene rinunciare un poco alla capacità di carico per ottenere un minore attrito — si devono determinare le tolleranze costruttive sul cuscinetto.

Nel nostro esempio il gioco radiale deve essere tra 0.05 e 0.13 mm, mentre ricordiamo che le tabelle delle tolleranze permettono di ricavare il gioco diametrale, cioè il doppio del gioco radiale.

Innanzitutto scegliamo il metodo 'albero base', per cui la posizione di tolleranza sul foro è H, mentre quella sull'albero varia; per quanto riguarda la qualità di tolleranza si sceglie la IT8 sul foro e la IT7 sull'albero, oppure, volendo una maggiore precisione, la IT7 sul foro e la IT6 sull'albero.

L'ampiezza del campo di tolleranza per un diametro nominale di 150 mm è di 63 μm per la IT7, 40 μm per la IT7 e 25 μm per la IT7 (notare il ricorrere di numeri di Renard della serie R10). Lo scostamento fondamentale per la posizione H è quello inferiore e vale zero, quindi per il foro H8 la tolleranza è H8$\binom{0.063}{0}$. Per quanto riguarda l'albero, facciamo l'esempio della posizione c7. Per essa lo scostamento fondamentale è quello superiore che vale -200 μm. Sottraendo l'ampiezza del campo di tolleranza si determina lo scostamento inferiore; quindi la tolleranza è c7$\binom{-0.200}{-0.240}$.

Per questo accoppiamento il gioco diametrale minimo è 0.200 mm e il gioco massimo è 0.303 mm, quindi il gioco medio è 0.1515 mm. Dividendo per due si ottengono i corrispondenti giochi radiali.

Altri casi sono contemplati nella tab. 27, dal cui esame appaiono consigliabili gli accoppiamenti H8/d7, H8/c7, H7/c6, H7/d6 e H7/e6. Forse lo studioso lettore potrà trovare delle soluzioni ancora migliori.

Tabella 27: Accoppiamenti possibili per il cuscinetto dell'esempio.

Foro	Albero	Gioco radiale		
		max	medio	min
$\varnothing$ 150 H8$\binom{+0.063}{0}$	$\varnothing$ 150 c7$\binom{-0.200}{-0.240}$	0.152	0.127	0.100
	$\varnothing$ 150 d7$\binom{-0.145}{-0.185}$	0.124	0.098	0.072
	$\varnothing$ 150 e7$\binom{-0.085}{-0.125}$	0.094	0.068	0.042
	$\varnothing$ 150 f7$\binom{-0.043}{-0.083}$	0.073	0.047	0.021
$\varnothing$ 150 H7$\binom{+0.040}{0}$	$\varnothing$ 150 c6$\binom{-0.200}{-0.225}$	0.133	0.117	0.100
	$\varnothing$ 150 d6$\binom{-0.145}{-0.170}$	0.105	0.088	0.072
	$\varnothing$ 150 e6$\binom{-0.085}{-0.110}$	0.075	0.058	0.042
	$\varnothing$ 150 f6$\binom{-0.043}{-0.068}$	0.054	0.038	0.021