

2. Viscosità

2.1 Viscosità dei liquidi

Nei fluidi, la viscosità è causata dall'attrito interno tra le molecole (però, è differente la sua origine a seconda che si tratti di gas o di liquidi) e ha influenza sulle perdite di carico nelle tubazioni. All'attrito interno tra gli strati molecolari adiacenti, si aggiunge la forza di massa, per cui la viscosità assume due distinti aspetti:

Viscosità dinamica η

è dovuta all'attrito causato dal reciproco sfregamento delle molecole. Nel Sistema Internazionale SI è misurata in Pascalsecondi (Pa · s)

$$1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 1 \frac{\text{N s}}{\text{m}^2}$$

Viscosità cinematica ν

è dovuta all'azione simultanea dell'attrito e della forza di massa, definita dal rapporto tra viscosità dinamica e densità ($\nu = \eta/\rho = \gamma/g$) e misurata in

$$\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \text{ nei sistemi sopra indicati.}$$

Per i calcoli, oltre alle sopra indicate unità, viene fatto uso anche di unità fisiche secondo il sistema cm-g-s e di misure convenzionali, diverse a seconda degli apparecchi usati per misurare la viscosità:

Unità fisiche

$$\frac{\text{dyn s}}{\text{cm}^2} = 1 \text{ Poise (1 P)} = 100 \text{ centipoise (100 cP)} \text{ per } \eta$$

$$\frac{\text{cm}^2}{\text{s}} = 1 \text{ Stokes (1 St)} = 100 \text{ centistokes (100 cSt)} \text{ per } \nu$$

Misure convenzionali

Germania:	gradi Engler	°E
Inghilterra:	secondi Redwood	secondo
USA:	secondi Saybolt	secondo (SUS)

Le scale di Redwood e Saybolt indicano la rapidità di efflusso in secondi da determinati recipienti. I gradi Engler danno il rapporto tra la velocità di efflusso di 200 cm³ di liquido in questione e 200 cm³ di acqua distillata avente temperatura di 20 °C.

Alcune equazioni unitarie

$$\text{per } \eta: 1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 1 \frac{\text{N s}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{m s}} = 10 \frac{\text{g}}{\text{cm s}} = 10 \text{ P}$$

$$1 \frac{\text{kp s}}{\text{m}^2} = 9,81 \frac{\text{N s}}{\text{m}^2} = 98,1 \frac{\text{dyn s}}{\text{cm}^2} = 98,1 \text{ P}$$

$$1 \frac{\text{dyn s}}{\text{cm}^2} = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm s}} = 1 \text{ P}$$

$$\text{per } \nu: 1 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = 10^4 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}} = 10^4 \text{ St} = 10^6 \text{ cSt} = 10^6 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$$

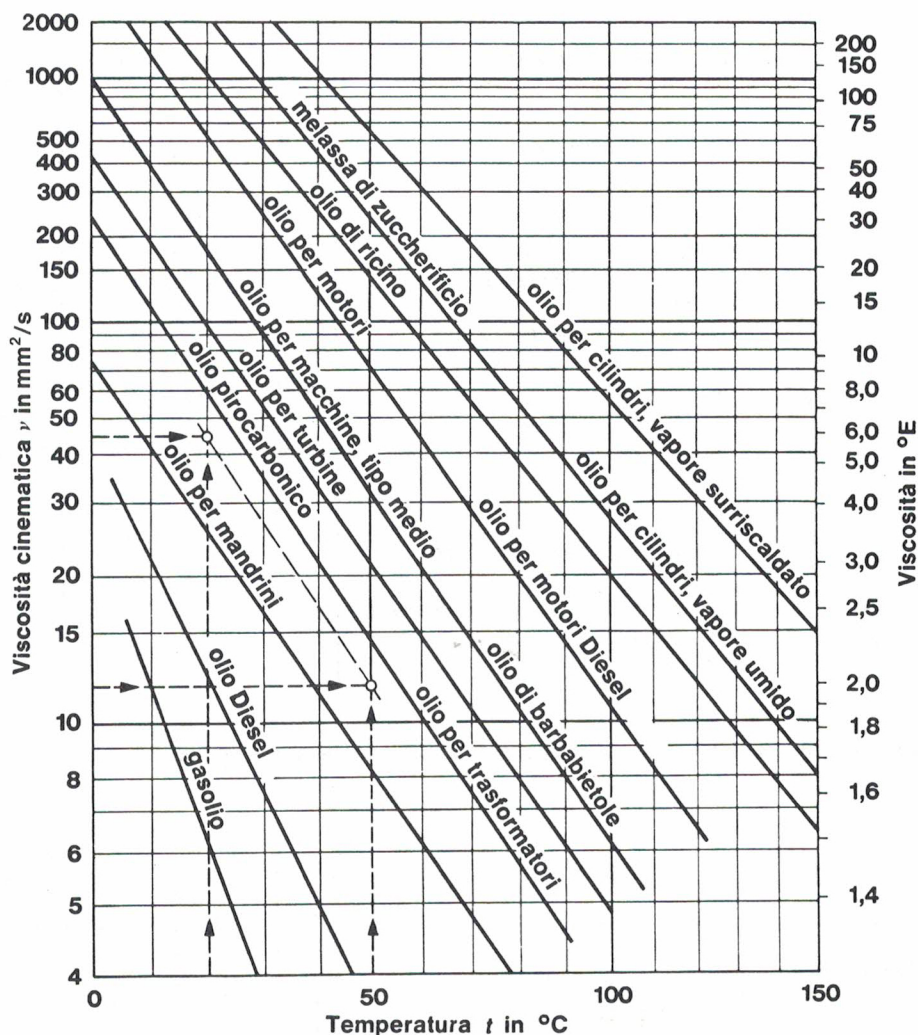
La conversione delle misure convenzionali in mm^2/s (= cSt) é alquanto imprecisa. Transitoriamente e per uso commerciale é consentito l'uso di tabelle di conversione. Nella Tab. di Fig. 29 sono riportati, per i diversi valori di mm^2/s , i corrispondenti valori convenzionali. L'acqua pura, alla temperatura di 20°C , ha una viscosità dinamica $\eta = 1.002 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{s}$, e la viscosità cinematica $\nu = 1,0038 \text{ mm}^2/\text{s}$.

Tabella di conversione delle viscosità ¹⁾

Fig. 29

Viscosità cinematica ν mm^2/s	Tempo relativo di efflusso E_r $^\circ\text{E}$	Equivalente Redwood No. 1 Viscosity (70 °F) secondo	Equivalente Saybolt Viscosity (100 °F) secondo (SUS)
2,0	1,119	—	32,6
3,0	1,217	—	36,0
4,0	1,307	35	39,2
5,0	1,394	38	42,4
6,0	1,480	41	45,6
7,0	1,566	43	48,8
8,0	1,653	46	52,1
9,0	1,742	49	55,4
10	1,834	52	58,8
12	2,022	58	66,0
14	2,222	65	73,5
16	2,432	71	81,4
18	2,650	78	89,5
20	2,876	85	97,8
22	3,11	93	106,3
24	3,35	100	115,0
26	3,59	108	123,7
28	3,83	116	132,6
30	4,08	123	141,5
35	4,71	143	164,0
40	5,35	164	186,8
45	6,00	184	210
50	6,65	204	233
55	7,30	224	256
60	7,95	244	279
100	13,20	406	463

¹⁾ Con l'apparecchio di Engler, nella conversione, non si tiene conto dell'influenza della temperatura. Per l'apparecchio di Saybolt, a 210°F i tempi di efflusso si maggiorano dell' 1% rispetto ai tempi a 100°F . Per l'apparecchio di Redwood No. 1 a 200°F si maggiorano del 2 o 3% rispetto ai tempi a 70°F .



Il diagramma di Fig. 30 permette di ottenere anche i valori della viscosità di altri liquidi. Noti soltanto due punti, li si riporta sul diagramma collegandoli poi con una linea retta. Conoscendo un punto solo, si traccia da questo una retta tra due linee contigue. In questo modo si trova, in entrambi i casi, la linea approssimativa corrispondente alle caratteristiche del liquido. Esempio: si ha olio a 11,8 mm²/s a 50 °C, si vuol conoscere la viscosità dello stesso alla temperatura di 20 °C. Il risultato é 45 mm²/s.

Viscosità cinematica di alcuni liquidi a diverse temperature $10^6 \nu$ in m^2/s

Fig. 31

Sostanza	10 °C	30 °C	50 °C	70 °C	90 °C
Acetone	0,45	0,37	0,31		
Alcool etilico	1,85	1,27	0,90		
Benzolo	0,87	0,64	0,50		
Glicerina a 20 °C : 11,9	—	4,9	—		
Fenolo a 20 °C : 10,9	—	6,5	3,2		
Piridina	1,14	0,85	—		
Anidride solforosa	0,31	0,27	—		
Tetracloruro di carbonio	0,71	0,53	0,41		
Tetralina a 20 °C : 2,06	—	—	1,34		
Toluolo	0,77	0,60	0,49		
Xilolo (valore medio)	0,91	0,70	0,56		
Petrolio grezzo					
(valori indicativi):					
Argentina $\rho = 939 \text{ kp/m}^3$	—	—	600	200	50
Messico $\rho = 940 \text{ kp/m}^3$	—	800	250	90	32
Germania					
Hannover $\rho = 941 \text{ kp/m}^3$	—	500	125	42	14,5
Baku $\rho = 929 \text{ kp/m}^3$	—	260	80	31	12
Texas	300	80	30	14	—
Romania $\rho = 940 \text{ kp/m}^3$	270	70	25	12	5,5
Iran	140	35	13	6,5	3
Borneo	19	9	5	3,2	1,9
Galizia $\rho = 855 \text{ kp/m}^3$	12,5	6	3,5	2,3	1,4
Catrame pirocarbonico pesante	—	—	300	60	14
Catrame pirocarbonico leggero	120	30	10	5	2,4
Catrame di carbone fossile e di cokeria	—	220	60	22	9
Catrame di carbone della Ruhr da distillazione	—	170	25	7,5	2,4

Viscosità cinematica e peso specifico di liquidi diversi alla temperatura di 15 °C

Fig. 32

Liquido		$10^6 \nu \text{ m}^2/s$	$\rho \text{ kg/m}^3$	Liquido	$10^6 \nu \text{ m}^2/s$	$\rho \text{ kg/m}^3$
Spirito	95 %	1,94	809	Birra	1,15	1020—1040
	90 %	2,19	823			
	85 %	2,46	836			
Naftalina pura		0,905	979	Latte	2,90	1030
Benzina		0,80—0,76	700—740	Vino	1,15	990—1000
Olio di oliva		117,00	920	Soluz. NaCl in acqua		
Olio di ricino		1480,00	970	5 % NaCl	1,17	1036
Olio di trementina		1,86	875	10 % NaCl	1,25	1073
Acido nitrico 25 %		1,16	1150	20 % NaCl	1,64	1150
40 %		1,31	1250	Petrolio	1,75—2,85	800—825
91 %		0,95	1500	Gasolina	0,82	737
Acido solforico 25 %		1,66	1182		0,61	708
50 %		3,06	1399		0,46	680
75 %		10,0	1674			
100 %		14,7	1836			

2.2 Viscosità dei gas e del vapore d'acqua

Vale quanto detto al punto 2.1 sulle unità di misura della viscosità dei liquidi. Viscosità, peso specifico e viscosità cinematica dei gas e del vapore d'acqua sono, comunque, strettamente legati alla relativa pressione; mentre la viscosità dinamica, fino a pressioni di 10 bar assoluti e a temperatura costante, subisce una variazione inferiore all' 1%. Perciò è consigliabile, nel caso di gas e vapori, procedere al calcolo tenendo conto della viscosità dinamica η (t). Vedasi anche diagrammi di Fig. 33 e 34. —

Fino a 10 bar assoluti η varia meno dell' 1%.
A pressioni superiori, ad es. per l'aria a 20 °C si ha

a p	1	80	120	160	200 bar ass.
$10^6 \eta$	1,85	2,00	2,35	2,75	3,25 Pa · s

La viscosità dinamica di miscele di gas, si ottiene con buona approssimazione da:

$$\eta_{\text{miscela}} \approx \frac{n_1 \eta_1 Z_1 + n_2 \eta_2 Z_2 + \dots}{n_1 Z_1 + n_2 Z_2 + \dots}$$

n_1, n_2 volume dei singoli gas
 η_1, η_2 visc. dinamica dei sing. gas
 Z_1, Z_2 costante

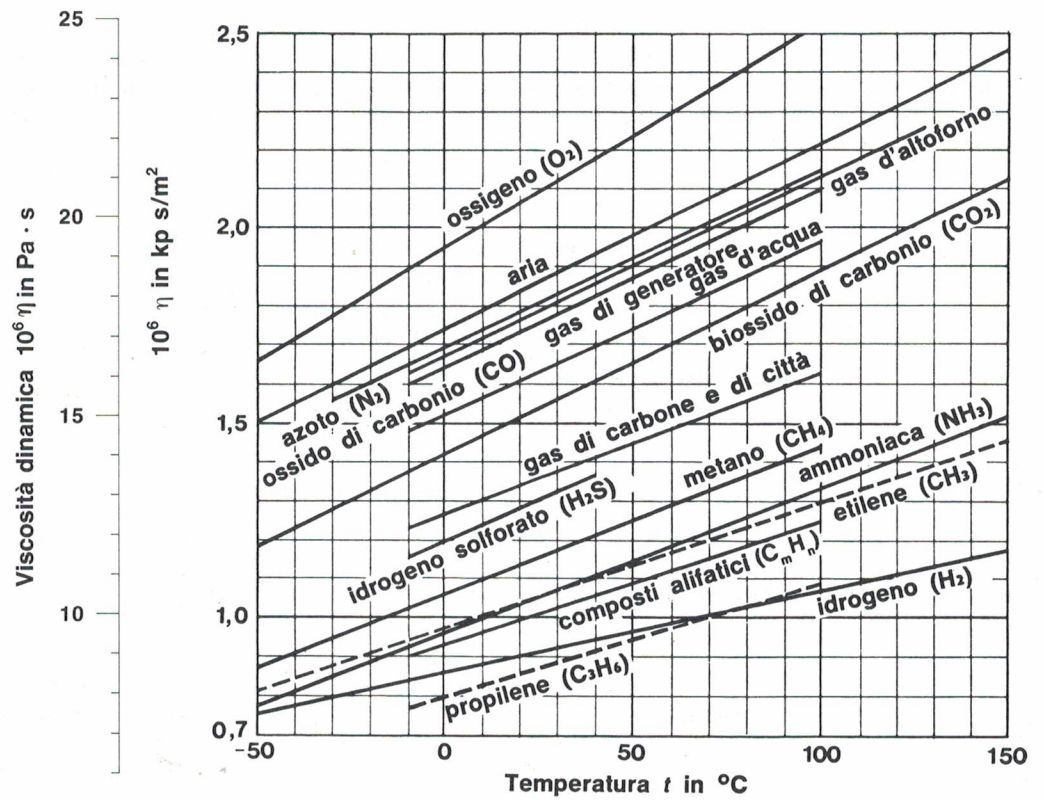
Le costanti $Z_1, Z_2 \dots$ dei gas presenti nella miscela secondo Hering-Zipperer:

tipo di gas	N ₂	CO	CO ₂	H ₂	CH ₄	C _m H _n *
costante	59	62	116	8	55	96

* composizione volumetrica: 0,80 C₂H₆ + 0,20 C₃H₈

Viscosità dinamica di alcuni gas a diverse temperature

Fig. 33



Viscosità dinamica del vapore d'acqua a diverse temperature secondo Timroth

Fig. 34

