



# Tolleranze dimensionali e Rugosità

**Prof. Giorgio Colombo**  
**Dipartimento di Meccanica**

## ... in questa lezione

- Tolleranze dimensionali
- Rugosità

## Errori di lavorazione



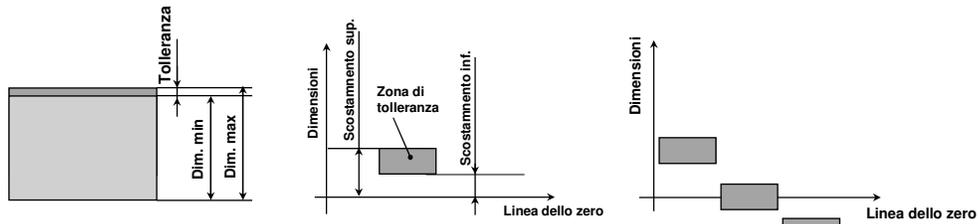
## Errori dimensionali

- **Definizione**
- **Tolleranza e lavorazione**
- **Tipi di collegamenti**
- **Sistema ISO di tolleranze e collegamenti**
- **Indicazione delle quote con tolleranza**

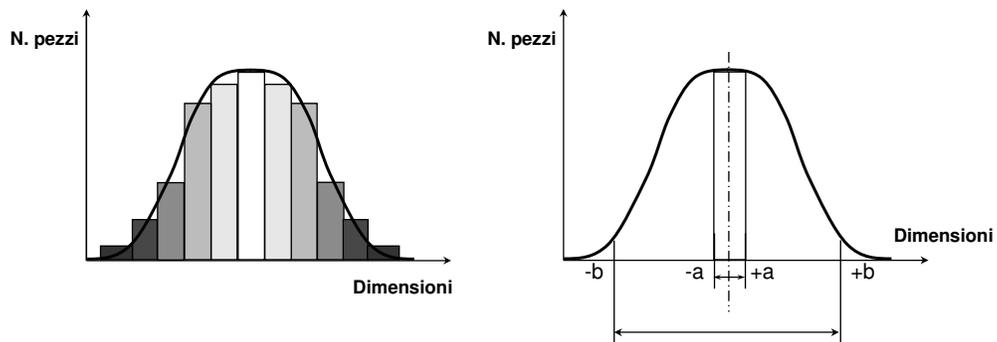
# Tolleranza

## ▪ Definizione

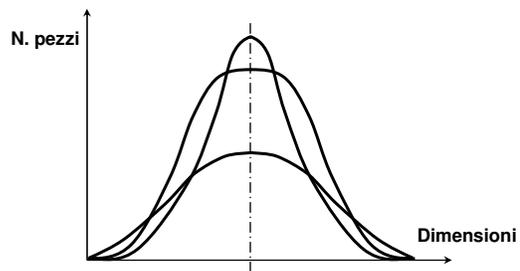
- differenza tra la dimensione massima e minima (cioè intervallo entro il quale può oscillare la dimensione effettiva): differenza algebrica tra scostamento superiore ed inferiore



# Tolleranza e lavorazione



## Tolleranza e lavorazione

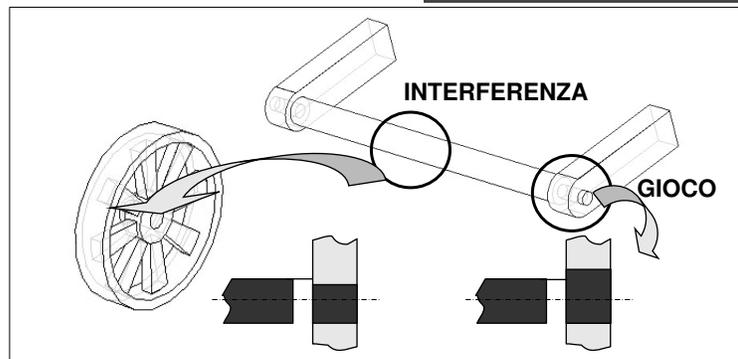
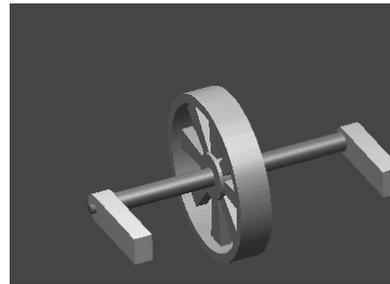


II FACOLTA' DI INGEGNERIA  
POLITECNICO DI MILANO

7

## Tipi di collegamenti

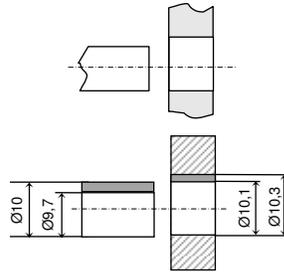
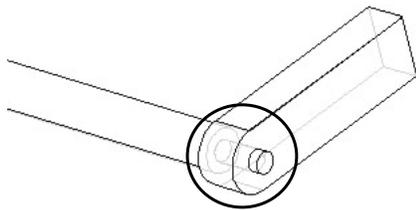
- con interferenza
- con gioco
- incerto



POLITECNICO DI MILANO

8

## Collegamento con gioco

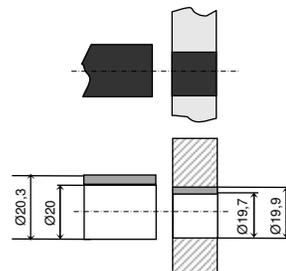
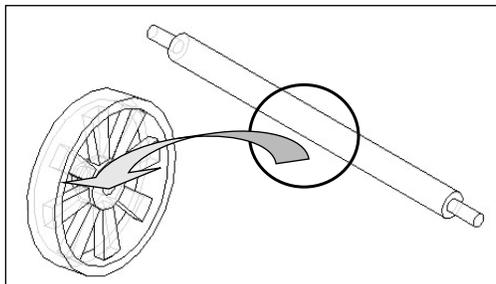


$$G_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = 10.1 - 10 = 0.1 \text{ mm}$$

$$G_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = 10.3 - 9.7 = 0.6 \text{ mm}$$

- **Gioco MINIMO:** differenza tra dimensione minima del foro e dimensione massima dell'albero
- **Gioco MASSIMO:** differenza tra dimensione massima del foro e dimensione minima dell'albero

## Collegamento con interferenza

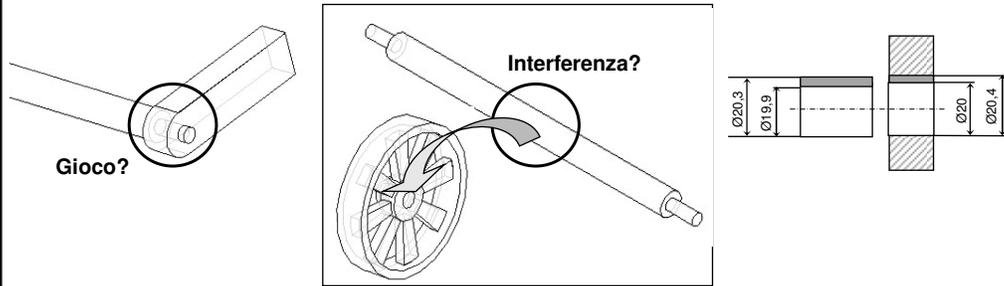


$$I_{\min} = d_{\min} - D_{\max} = 20 - 19.9 = 0.1 \text{ mm}$$

$$I_{\max} = d_{\max} - D_{\min} = 20.3 - 19.7 = 0.6 \text{ mm}$$

- **Interferenza MINIMA:** valore assoluto della differenza tra dimensione massima del foro e dimensione minima dell'albero
- **Interferenza MASSIMA:** valore assoluto della differenza tra dimensione minima del foro e dimensione massima dell'albero

## Collegamento incerto

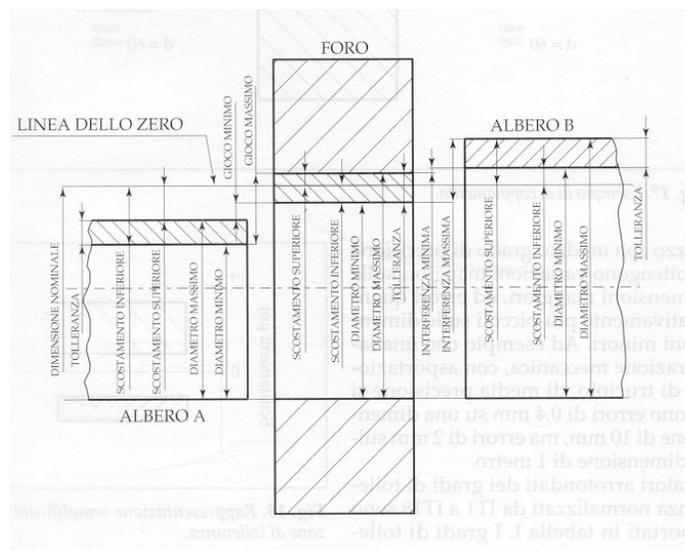


$$G_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = 20.4 - 19.9 = 0.5 \text{ mm}$$

$$I_{\max} = d_{\max} - D_{\min} = 20.3 - 20 = 0.3 \text{ mm}$$

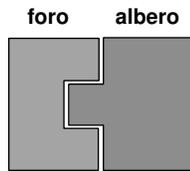
- **Gioco MASSIMO:** differenza tra dimensione massima del foro e dimensione minima dell'albero
- **Interferenza MASSIMA:** valore assoluto della differenza tra dimensione minima del foro e dimensione massima dell'albero

## Riassumendo



# Sistema ISO di tolleranze e collegamenti

- UNI adotta Sistema ISO di tolleranze e collegamenti
- Caratteristiche fondamentali dalle quali dipende la tolleranza
  - dimensione nominale
  - qualità della lavorazione
  - posizione della zona di tolleranza



II FACOLTA' DI INGEGNERIA  
POLITECNICO DI MILANO

13

# Gruppi dimensionali

**Il valore della tol. dipende dalle dimensioni**

- limitate tra 1 e 3150 mm
- suddivise in due campi
  - da 1 a 500 mm
  - oltre 500 fino a 3150 mm
- suddivisi in gruppi:
  - principali
  - intermedi

Valori in mm

a) Dimensioni nominali minori od uguali a 500 mm			
gruppi principali		gruppi intermedi <sup>1)</sup>	
oltre	fino a	oltre	fino a
–	3	Nessuna suddivisione	
3	6		
6	10		
10	18	10	14
		14	18
18	30	18	24
		24	30
30	50	30	40
		40	50
50	80	50	65
		65	80
80	120	80	100
		100	120
120	180	120	140
		140	160
		160	180
180	250	180	200
		200	225
		225	250
250	315	250	280
		280	315
315	400	315	355
		355	400
400	500	400	450
		450	500

Valori in mm

b) Dimensioni nominali maggiori di 500 mm e minori o uguali a 3150 mm			
gruppi principali		gruppi intermedi <sup>2)</sup>	
oltre	fino a	oltre	fino a
500	630	500	560
		560	630
630	800	630	710
		710	800
800	1 000	800	900
		900	1 000
1 000	1 250	1 000	1 120
		1 120	1 250
1 250	1 600	1 250	1 400
		1 400	1 600
1 600	2 000	1 600	1 800
		1 800	2 000
2 000	2 500	2 000	2 240
		2 240	2 500
2 500	3 150	2 500	2 800
		2 800	3 150

1) Tali gruppi sono utilizzati, in alcuni casi, per gli scostamenti da "a" fino a "c" e da "r" a "zc" o da "A" a "C" e da "R" a "ZC" (vedere prospetto II e III).  
2) Tali gruppi sono utilizzati per gli scostamenti da "r" a "u" e da "R" a "U" (vedere prospetti II e III).

POLITECNICO DI MILANO

14

## Gradi di tolleranza normalizzate (1/2)

Dimensione nominale mm		GRADI DI TOLLERANZA NORMALIZZATI																	
		IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
oltre	fino a	Tolleranze																	
		$\mu\text{m}$									mm								
-	3	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0,1	0,14	0,25	0,4	0,60	1	1,4
3	6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	0,12	0,18	0,3	0,48	0,75	1,2	1,8
6	10	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,9	1,5	2,2
10	18	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0,18	0,27	0,43	0,7	1,1	1,8	2,7
18	30	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0,21	0,33	0,52	0,84	1,3	2,1	3,3
30	50	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0,25	0,39	0,62	1	1,6	2,5	3,9
50	80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0,3	0,46	0,74	1,2	1,9	3	4,6
80	120	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54	0,87	1,4	2,2	3,5	5,4
120	180	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0,4	0,63	1	1,6	2,5	4	6,3
180	250	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0,46	0,72	1,15	1,85	2,9	4,6	7,2
250	315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0,52	0,81	1,3	2,1	3,2	5,2	8,1
315	400	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0,57	0,89	1,4	2,3	3,6	5,7	8,9
400	500	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0,63	0,97	1,55	2,5	4	6,3	9,7
500	630	9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	0,7	1,1	1,75	2,8	4,4	7	11
630	800	10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	0,8	1,25	2	3,2	5	8	12,5
800	1000	11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	0,9	1,4	2,3	3,6	5,6	9	14
1000	1250	13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1,05	1,65	2,6	4,2	6,6	10,5	16,5
1250	1600	15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1,25	1,95	3,1	5	7,8	12,5	19,5
1600	2000	18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1,5	2,3	3,7	6	9,2	15	23
2000	2500	22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1100	1,75	2,8	4,4	7	11	17,5	28
2500	3150	26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1350	2,1	3,3	5,4	8,6	13,5	21	33

Dimensione nominale		Gradi di tolleranze normalizzate	
mm		IT01	IT0
oltre	fino a	tolleranza $\mu\text{m}$	
-	3	0,3	0,5
3	6	0,4	0,6
6	10	0,4	0,6
10	18	0,5	0,8
18	30	0,6	1
30	50	0,6	1
50	80	0,8	1,2
80	120	1	1,5
120	180	1,2	2
180	250	2	3
250	315	2,5	4
315	400	3	5
400	500	4	6

**Qualità della lavorazione**

15

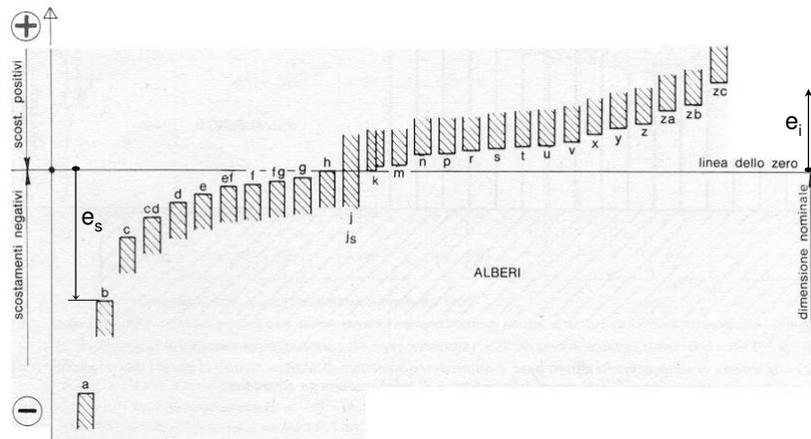
## Gradi di tolleranza normalizzate (2/2)

Grado di tolleranza normalizzato	Classe di tolleranza		Lavorazioni meccaniche corrispondenti		Applicazioni	
	Alberi	Fori	Alberi	Fori	Alberi	Fori
IT1 - IT4			Lavorazione con macchine speciali	Lavorazione con macchine speciali	Lavorazioni di precisione di strumenti di misura, calibri, blocchetti di riscontro	
IT5	extra preciso		rettifica	rettifica speciale	Lavorazioni di pezzi destinati ad essere accoppiati	
IT6	preciso	extra preciso	rettifica	rettifica	Lavorazioni di pezzi destinati ad essere accoppiati	
IT7	preciso-medio	preciso	tornitura	rettifica alesatura tornitura	Lavorazioni di pezzi destinati ad essere accoppiati	
IT8	medio	medio	tornitura	alesatura tornitura	Lavorazioni di pezzi destinati ad essere accoppiati	
IT9	medio-grossolano	medio-grossolano	tornitura trafilatura	alesatura tornitura trapanatura	Lavorazioni di pezzi destinati ad essere accoppiati	
IT10	medio-grossolano	medio-grossolano	tornitura trafilatura	alesatura tornitura trapanatura	Lavorazioni di pezzi destinati ad essere accoppiati	
IT11	grossolano	grossolano	Lavorazioni grossolane di stampaggio o fusione		Pezzi non destinati ad accoppiamenti con altri pezzi	
IT12	molto grossolano	molto grossolano	Lavorazioni grossolane di stampaggio o fusione		Pezzi non destinati ad accoppiamenti con altri pezzi	
IT13	molto grossolano	molto grossolano	Lavorazioni grossolane di stampaggio o fusione		Pezzi non destinati ad accoppiamenti con altri pezzi	
IT14 - IT18	molto grossolano	molto grossolano	Lavorazioni grossolane di stampaggio o fusione		Pezzi non destinati ad accoppiamenti con altri pezzi	

16



## Posizione della tolleranza (3/3)



II FACOLTA' DI INGEGNERIA  
POLITECNICO DI MILANO

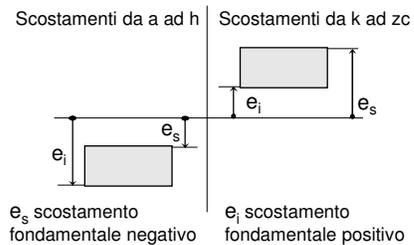
19

## Scostamenti fondamentali

### Alberi

$$e_i = e_s - IT \quad \text{da } a \text{ ad } h$$

$$e_s = e_i + IT \quad \text{da } j \text{ ad } zc$$



### Fori

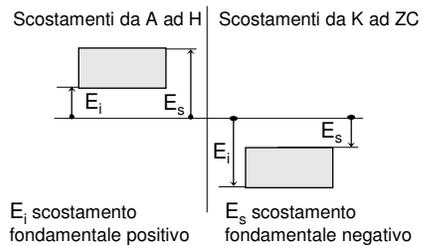
Regola generale

$$E_s = E_i + IT \quad \text{da } A \text{ ad } H$$

$$E_i = E_s - IT \quad \text{da } J \text{ ad } ZC$$

Regola speciale

$$E_s = -e_i + \Delta \quad \Delta = IT_n - IT(n-1)$$

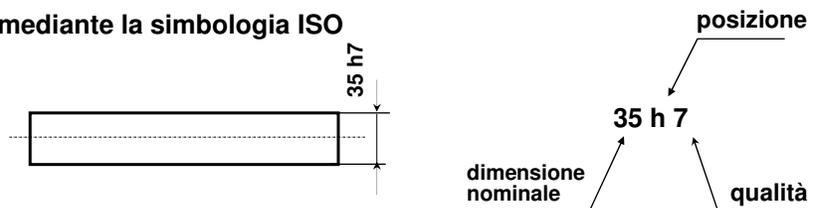


II FACOLTA' DI INGEGNERIA  
POLITECNICO DI MILANO

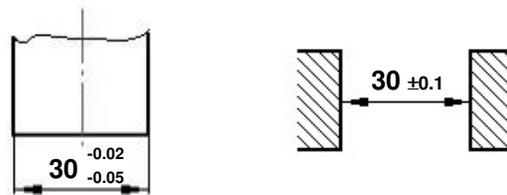
20

## Indicazione delle quote con tolleranza (1/2)

- mediante la simbologia ISO



- mediante gli scostamenti limite

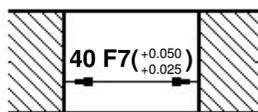


II FACOLTA' DI INGEGNERIA  
POLITECNICO DI MILANO

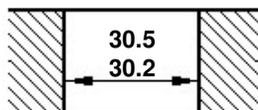
21

## Indicazione delle quote con tolleranza (2/2)

- mediante il simbolo della zona di tolleranza ISO e gli scostamenti limite



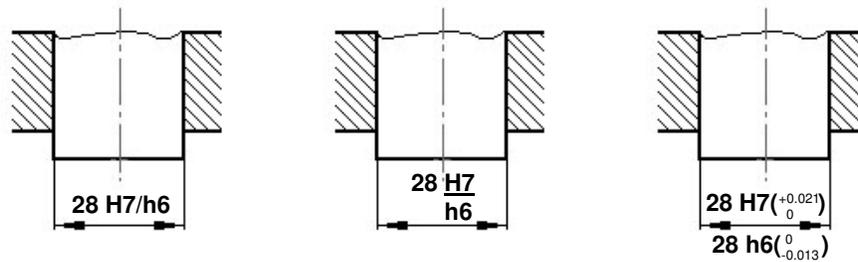
- mediante le dimensioni finite



II FACOLTA' DI INGEGNERIA  
POLITECNICO DI MILANO

22

## Accoppiamenti nel sistema ISO (1/2)

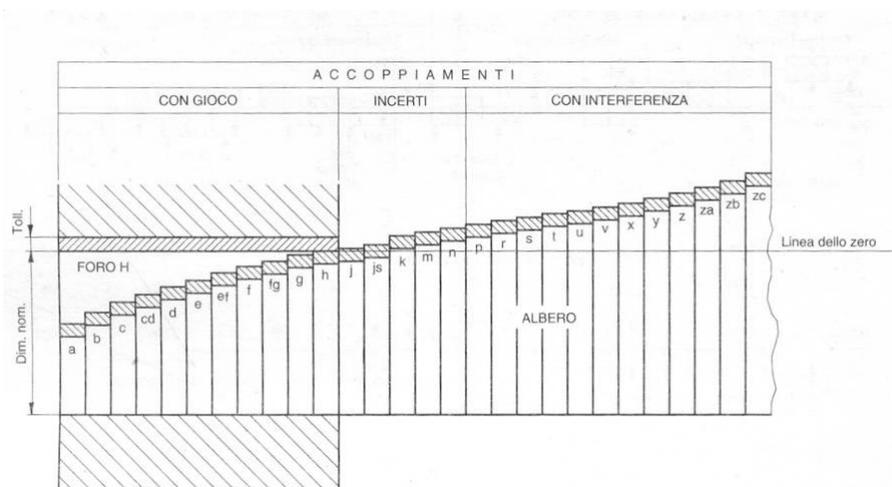


II FACOLTA' DI INGEGNERIA  
POLITECNICO DI MILANO

23

## Accoppiamenti nel sistema ISO (2/2)

- Sistema di accoppiamento **foro base**: 18 H6/g5

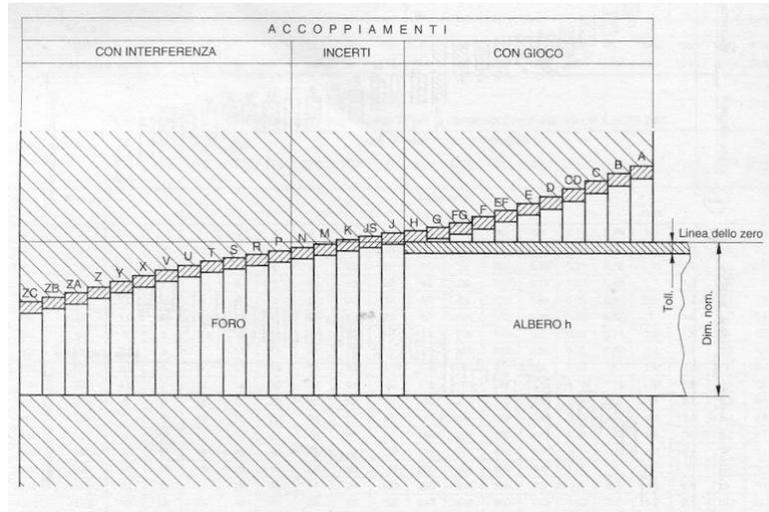


POLITECNICO DI MILANO

24

## Accoppiamenti nel sistema ISO (2/2)

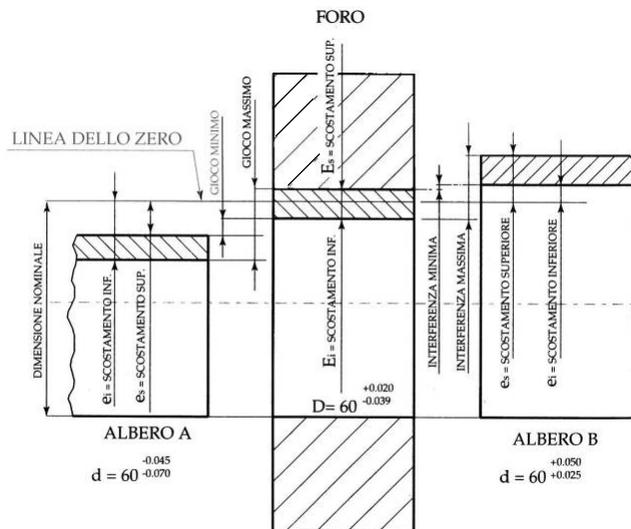
- Sistema di accoppiamento **albero base**: 40 G7/h6



POLITECNICO DI MILANO

25

## Sistema ISO di tolleranze ed accoppiamenti



POLITECNICO DI MILANO

26

## Esempio

- **Accoppiamento: 45 H8/g7**
  - Dimensione nominale: 45 mm
  
  - Tolleranza fondamentale foro IT8 =  $39 \mu\text{m} = 0.039 \text{ mm}$
  - Scostamento fondamentale foro:  $E_i = 0$
  - Scostamento superiore foro:  $E_s = E_i + IT = 0 + 0.039 \text{ mm} = 0.039 \text{ mm}$
  - Dimensione minima foro:  $45 + E_i = 45 \text{ mm}$
  - Dimensione massima foro:  $45 + E_s = 45 + 0.039 = 45.039$
  
  - Tolleranza fondamentale albero IT7 =  $25 \mu\text{m} = 0.025 \text{ mm}$
  - Scostamento fondamentale albero:  $e_s = -9 \mu\text{m} = -0.009 \text{ mm}$
  - Scostamento inferiore albero:  $e_i = e_s - IT = -9 - (+25) = -34 \mu\text{m} = -0.034 \text{ mm}$
  - Dimensione massima albero:  $45 - e_s = 44.991 \text{ mm}$
  - Dimensione minima foro:  $45 - e_i = 44.966$
  
  - Gioco minimo:  $45 - 44.991 = 0.009 \text{ mm}$
  - Gioco massimo:  $45.039 - 44.996 = 0.073 \text{ mm}$

## Accoppiamenti raccomandati

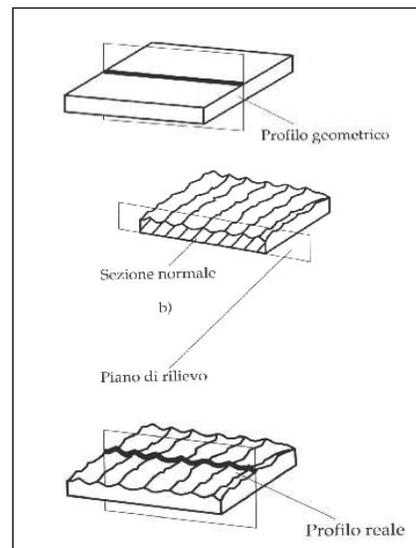
- **per alberi**
  - **a11, b11, c11, d8, d9, d10, e7, e8, e9, f6, f7, f8, g5, g6, h5, h6, h7, h8, h9, h11, js5, js6, js7, k5, k6, k7, m5, m6, m7, n5, n6, n7, p5, p6, p7, r5, r6, r7, s5, s6, s7, 75, y6, t7, u7**
- **per fori**
  - **A11, B11, C11, D9, D10, E8, E9, E10, F6, F7, F8, F9, G6, G7, H6, H7, H8, H9, H10, H11, JS6, JS7, JS8, K6, K7, K8, M6, M7, M8, N6, N7, N8, P6, P7, P8, R6, R7, R8, S6, S7, T6, T7**

## Finiture superficiali e rugosità

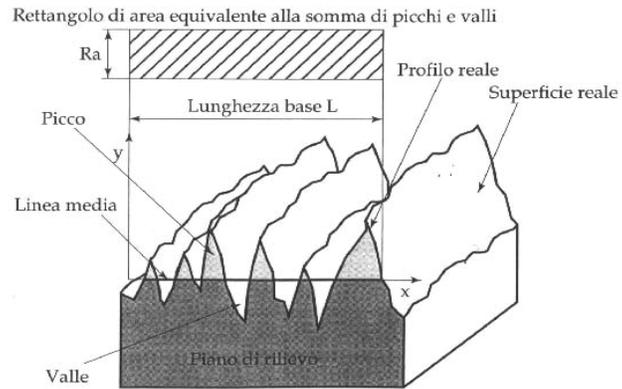
- Definizioni
- Indicazione
- Criteri per la scelta

## Definizioni

- **Rugosità:** insieme delle irregolarità superficiali, che si ripetono con passo relativamente piccolo, lasciate dal processo di lavorazione e/o da altri fattori influenti
- **Superficie geometrica o ideale:** superficie teorica rappresentata sul disegno
- **Superficie reale:** superficie effettiva ottenuta con la lavorazione
- **Piano di rilievo:** piano ortogonale alla superficie nominale del pezzo
- **Profilo ideale:** linea risultante dall'intersezione del piano di rilievo con la sup. geometrica
- **Profilo reale:** linea risultante dall'intersezione del piano di rilievo con la sup. reale

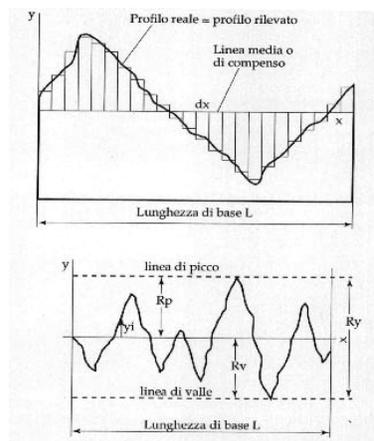


## Rugosità (1/2)



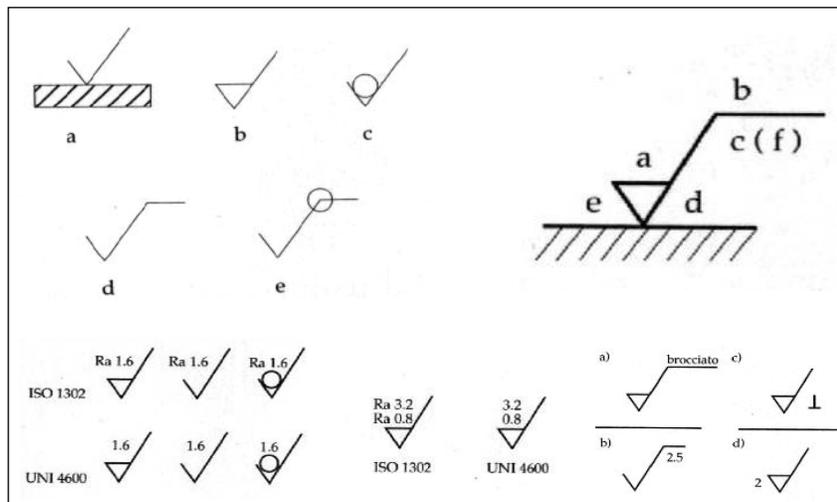
R = Roughness  
a = arithmetical average

## Rugosità (2/2)



**Rugosità di una superficie:  
massimo valore di Ra tra  
quelli rilevati su zone di  
esplorazione diverse**

## Indicazione della rugosità (1/14)

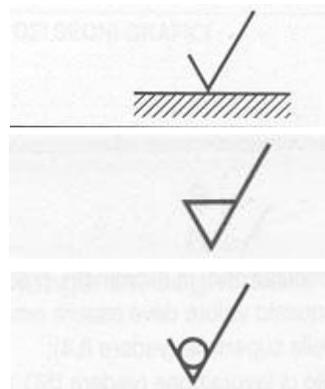


II FACOLTA' DI INGEGNERIA  
POLITECNICO DI MILANO

33

## Indicazione della rugosità (2/14)

- Segni grafici e indicazioni complementari sullo stato delle superfici
- Segno grafico di base
- Superficie lavorata per asportazione di truciolo
- Superficie da non lavorare con asportazione

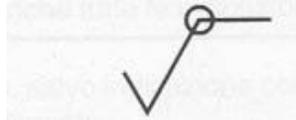


II FACOLTA' DI INGEGNERIA  
POLITECNICO DI MILANO

34

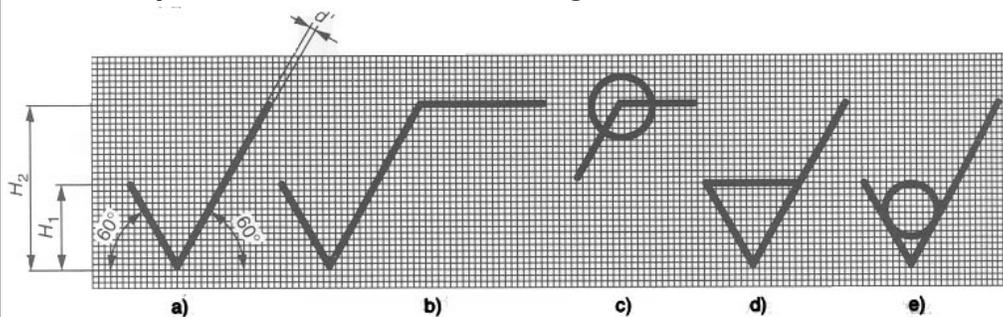
## Indicazione della rugosità (3/14)

- Per indicare delle caratteristiche specifiche
- Tutte le superfici devono avere lo stesso stato



## Indicazione della rugosità (4/14)

- Proporzionamento dei simboli grafici



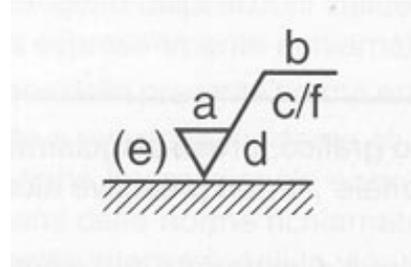
Dimensioni in mm

Altezza delle lettere e delle cifre, $h$ (vedere ISO 3096-1 <sup>(2)</sup> )	2,5	3,5	5	7	10	14	20
Larghezza dei tratti dei segni grafici, $d'$	0,25	0,35	0,5	0,7	1	1,4	2
Larghezza dei tratti di scrittura, $d$							
Altezza, $H_1$	3,5	5	7	10	14	20	28
Altezza, $H_2$	8	11	15	21	30	42	60

## Indicazione della rugosità (5/15)

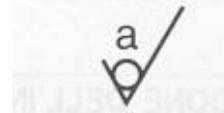
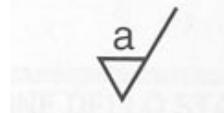
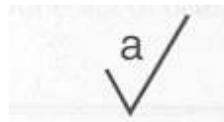
### ▪ Indicazioni complementari

- a valore della rugosità in micrometri preceduto dal simbolo Ra
- b lavorazione, trattamento
- c altezza dell'ondulazione in micrometri preceduta dalla lunghezza di base in millimetri
- d irregolarità della superficie
- e sovrammetallo di lavorazione
- f valore di rugosità diverso da Ra preceduto dal simbolo (es. Ry)

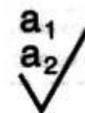


## Indicazione della rugosità (6/14)

### ▪ Indicazione numerica (in $\mu\text{m}$ )



### ▪ Per precisare un limite inferiore e uno superiore

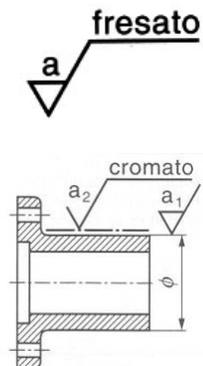


## Indicazione della rugosità (7/14)

- Indicazione di caratteristiche particolari dello stato delle superfici

- lavorazione m.u.

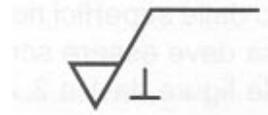
- trattamento superficiale (prima e dopo tratt.)



## Indicazione della rugosità (8/14)

- Irregolarità delle superfici

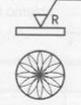
- direzione dei solchi dovuti alle lavorazioni



Segno grafico	Interpretazione ed esempio
=	<p>Solchi paralleli al piano di proiezione della vista sulla quale è posto il segno grafico</p> <p>Direzione dei solchi</p>
⊥	<p>Solchi perpendicolari al piano di proiezione della vista sulla quale è posto il segno grafico</p> <p>Direzione dei solchi</p>
X	<p>Solchi incrociati secondo due direzioni oblique in relazione al piano di proiezione della vista sulla quale è posto il segno grafico</p> <p>Direzione dei solchi</p>

## Indicazione della rugosità (9/14)

– direzione dei solchi dovuti alle lavorazioni

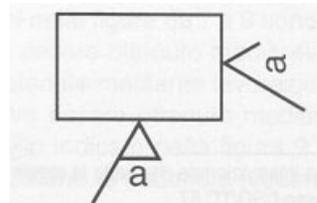
M	Solchi multidirezionali	
C	Solchi approssimativamente circolari in relazione al centro della superficie sulla quale è posto il segno grafico	
R	Solchi approssimativamente radiali in relazione al centro della superficie sulla quale è posto il segno grafico	
P	Solchi ad andamento particolare non orientati verso una direzione particolare né sporgenti	

II FACOLTA' DI INGEGNERIA  
POLITECNICO DI MILANO

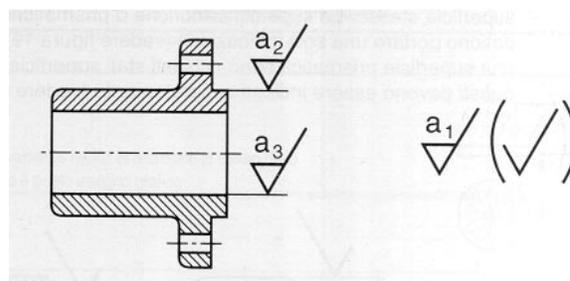
41

## Indicazione della rugosità (10/14)

- Il segno grafico deve poter essere letto dal basso o da destra



- Esempio

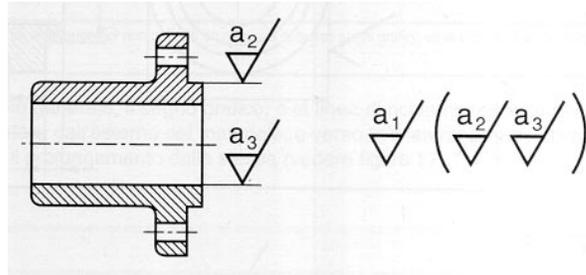


II FACOLTA' DI INGEGNERIA  
POLITECNICO DI MILANO

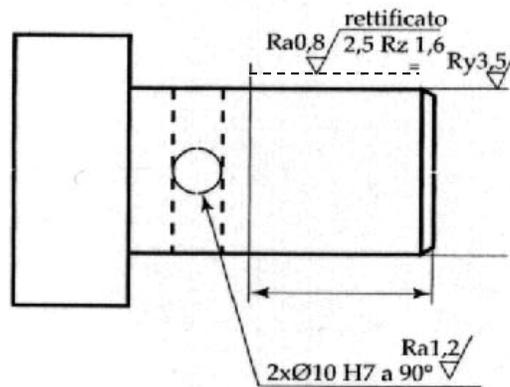
42

## Indicazione della rugosità (11/14)

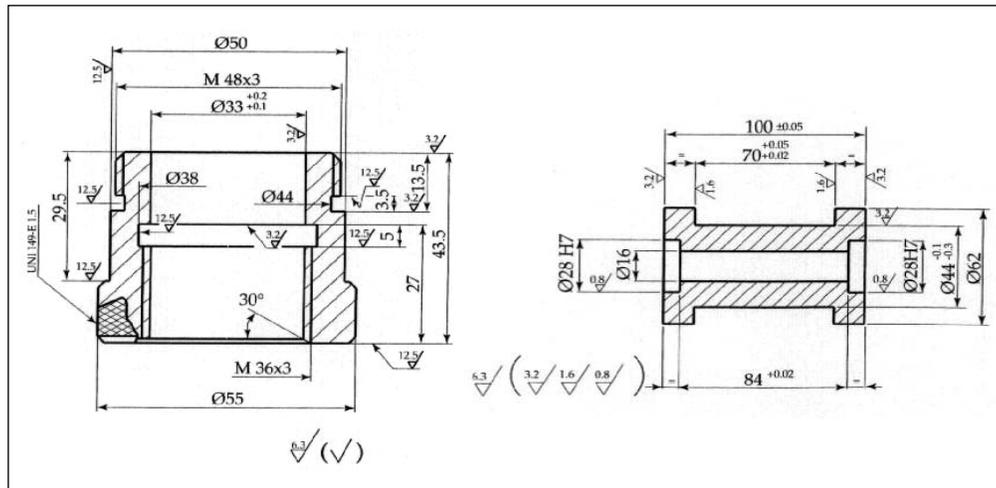
### ▪ Altro esempio



## Indicazione della rugosità (12/14)



## Indicazione della rugosità (13/14)



II FACOLTA' DI INGEGNERIA  
POLITECNICO DI MILANO

45

## Indicazione della rugosità (14/14)

INDICAZIONE DELLA NATURA DELLE SUPERFICI MEDIANTE I SEGNI DELLA UNIM 36		INDICAZIONE DELLO STATO DELLE SUPERFICI MEDIANTE LA RUGOSITÀ Ra
Segno grafico	Significato	
	Superficie superfinita	$0.2$ ✓
	Superficie rettificata	$0.8$ ✓
	Superficie lisciata ottenuta mediante lavorazione d'utensile a macchina od a mano	$3.2$ ✓
	Superficie sgrassata, ottenuta mediante lavorazione d'utensile a macchina od a mano	$12.5$ ✓
	Superficie grezza liscia	✓

Conversione dei vecchi simboli di rugosità nei valori Ra

II FACOLTA' DI INGEGNERIA  
POLITECNICO DI MILANO

46

## Criteri per la scelta della rugosità (1/3)

RUGOSITA' Ra $\mu\text{m}$	APPLICAZIONE
0.025	Piani di appoggio di micrometri, specchi e blocchi di riscontro
0.05	Facce calibri di officina e piani di appoggio comparatori
0.1	Facce calibri a corsoio, perni d'articolazione, utensili di precisione, cuscinetti superfiniti, accoppiamenti stagni ad alta pressione in moto alternato, superfici accoppiate di parti in moto alternativo a tenuta di liquido sotto pressione e superfici levigate di tenuta senza guarnizione
0.2	Supporti alberi a gomito e alberi a camme, perno di biella, superficie camme, diametro cilindri pompe idrauliche, cuscinetti lappati, perni turbine, accoppiamenti stagni mobili a mano, guide tavole macchine utensili, reggispira alte velocità, perni di alberi di rotor di turbine, di riduttori, ecc.

## Criteri per la scelta della rugosità (2/3)

RUGOSITA' Ra $\mu\text{m}$	APPLICAZIONE
0.4	Alberi scanalati, cuscinetti alberi motore, diametro esterno stantuffi, diametro cilindri, perni grandi macchine elettriche, accoppiamenti alla pressa, gambo valvola, superfici di tenuta di seggi ed otturatori di valvole, saracinesche, ecc., perni di alberi a gomito e portate di linee d'alberi, cuscinetti di metallo bianco, superfici di parti scorrevoli come pattini e relative guide
0.8	Tamburi, freni, fori brocciati, cuscinetti bronzo, parti di precisione, denti ingranaggi, cuscinetti rettificati, superfici di tenuta di flange senza guarnizione, perni di alberi a gomito e portate di linee d'alberi, cuscinetti di metallo bianco, superfici di parti scorrevoli come pattini e relative guide, superfici di tenuta dei seggi valvole motore
1.6	Facce particolari di ingranaggi, alberi e fori ingranaggi, teste cilindro, scatole ingranaggi di ghisa, faccia pistone, superfici di tenuta di flange con guarnizioni metalliche
3.2	Perni e cuscinetti per trasmissioni a mano, superfici di accoppiamento di parti fisse smontabili, (flange di accoppiato, imposte di centramento, ecc.)
6.3	Superfici di tenuta di flange con guarnizioni comuni

## Criteri per la scelta della rugosità (3/3)

Tolleranza fondamentale ISO	SUPERFICIE CILINDRICHE CON DIAMETRO IN mm					Superficie piane
	fino a 3	oltre 3 fino a 18	oltre 18 fino a 80	oltre 80 fino a 250	oltre 250	
	Rugosità Ra max. µm					
IT 6	0,2	0,32	0,5	0,8	1,25	1,25
IT 7	0,32	0,5	0,8	1,25	2	2
IT 8	0,5	0,8	1,25	2	3,2	3,2
IT 9	0,8	1,25	2	3,2	5	5
IT 10	1,25	2	3,2	5	8	8
IT 11	2	3,2	5	8	12,5	12,5
IT 12	3,2	5	8	12,5	20	20
IT 13	5	8	12,5	20	32	32
IT 14	8	12,5	20	32	50	50

## Documentazione

- **Sito Web**
  - <http://www.kaemart.it/dis-tecnico-ind/bovisa/colombo>
- **Manuali UNIMI: “Norme per il Disegno Tecnico”, Vol I. e Vol. II, U.N.I., Milano**
- **E. Chirone, S. Tornincasa, “Disegno Tecnico Industriale”, Vol. 1, 2, Edizioni Il Capitello, Torino, 1997**