



DISEGNO DI MACCHINE

A.A. 2025/2026

CdL Ingegneria Industriale/Navale

Finiture superficiali e Rugosità

Ph.D. Eng. Domenico Marzullo



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI TRIESTE

Dipartimento di Ingegneria e Architettura
Università degli Studi di Trieste

ERRORI DI REALIZZAZIONE DEI PEZZI

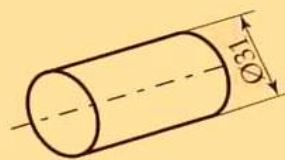
ERRORI DIMENSIONALI

Deviazioni delle dimensioni reali da quelle nominali

Tolleranze dimensionali



Prescrizione



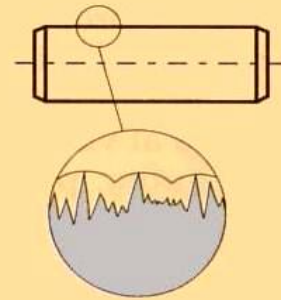
Oggetto reale

ERRORI GEOMETRICI

Deviazioni delle superfici reali da quelle nominali

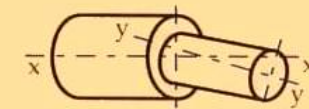
Errori microgeometrici

Rugosità

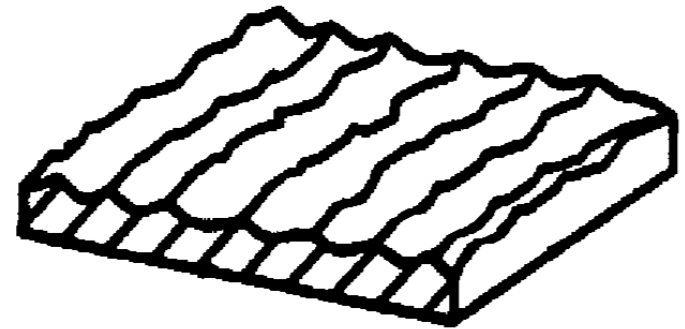


Errori macrogeometrici

Tolleranze geometriche



RUGOSITÀ: insieme delle irregolarità superficiali che si ripetono con passo relativamente piccolo, lasciate dal processo di lavorazione e/o da altri fattori influenti.



Norme di riferimento:

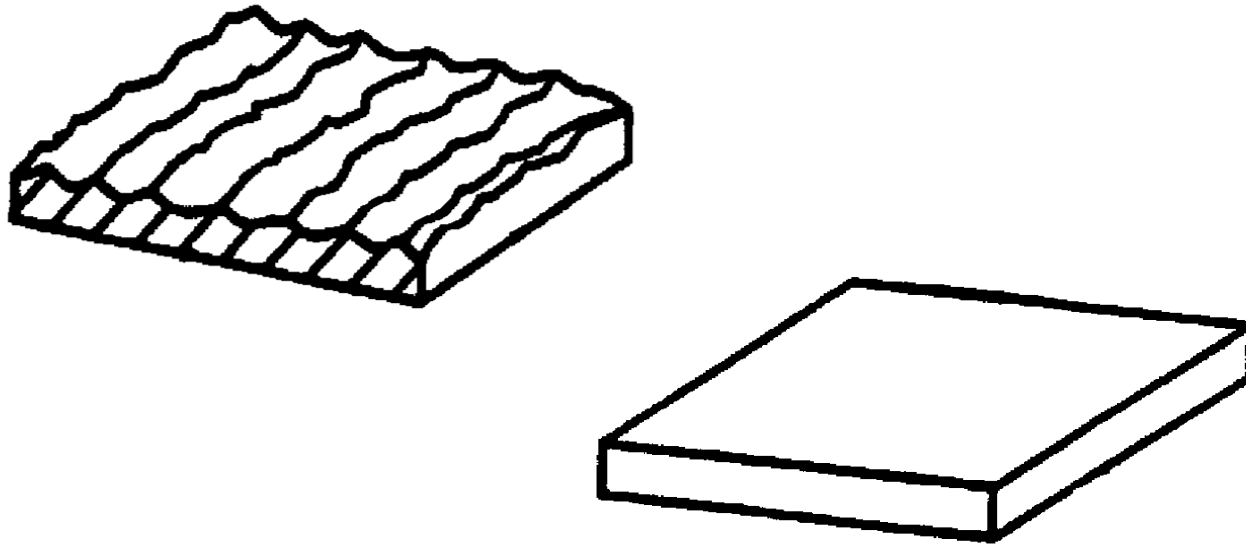
UNI ISO 468

UNI EN ISO 21920-1:2022 (sostituisce la UNI EN ISO 1302:2004 che recepiva la ISP 1302:2002)

UNI EN ISO 21920-2:2022 (sostituisce la UNI 4287)

Superficie geometrica o nominale o ideale: superficie teorica rappresentata sul disegno ed individuata dalle dimensioni nominali.

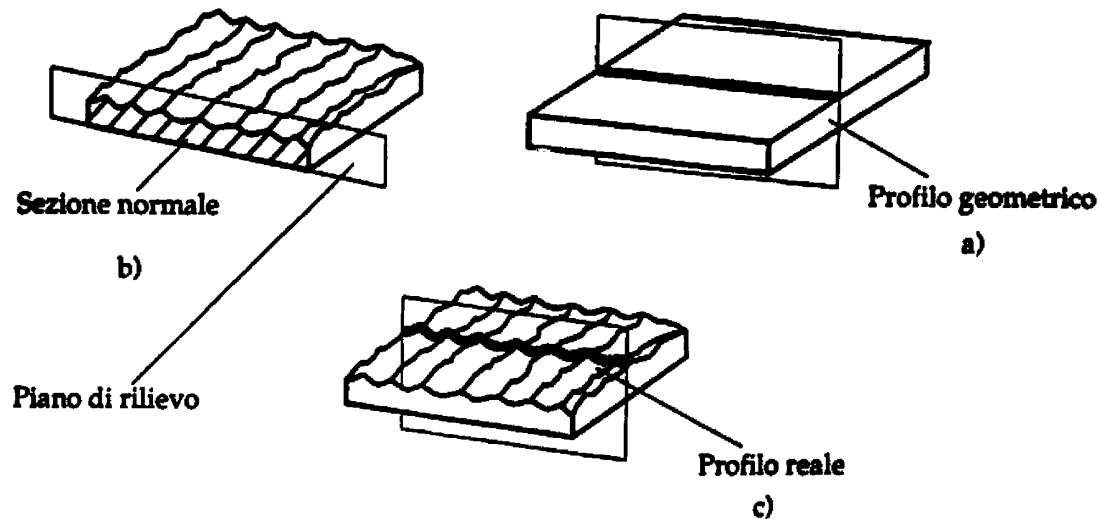
Superficie reale: superficie ottenuta effettivamente dalla lavorazione;

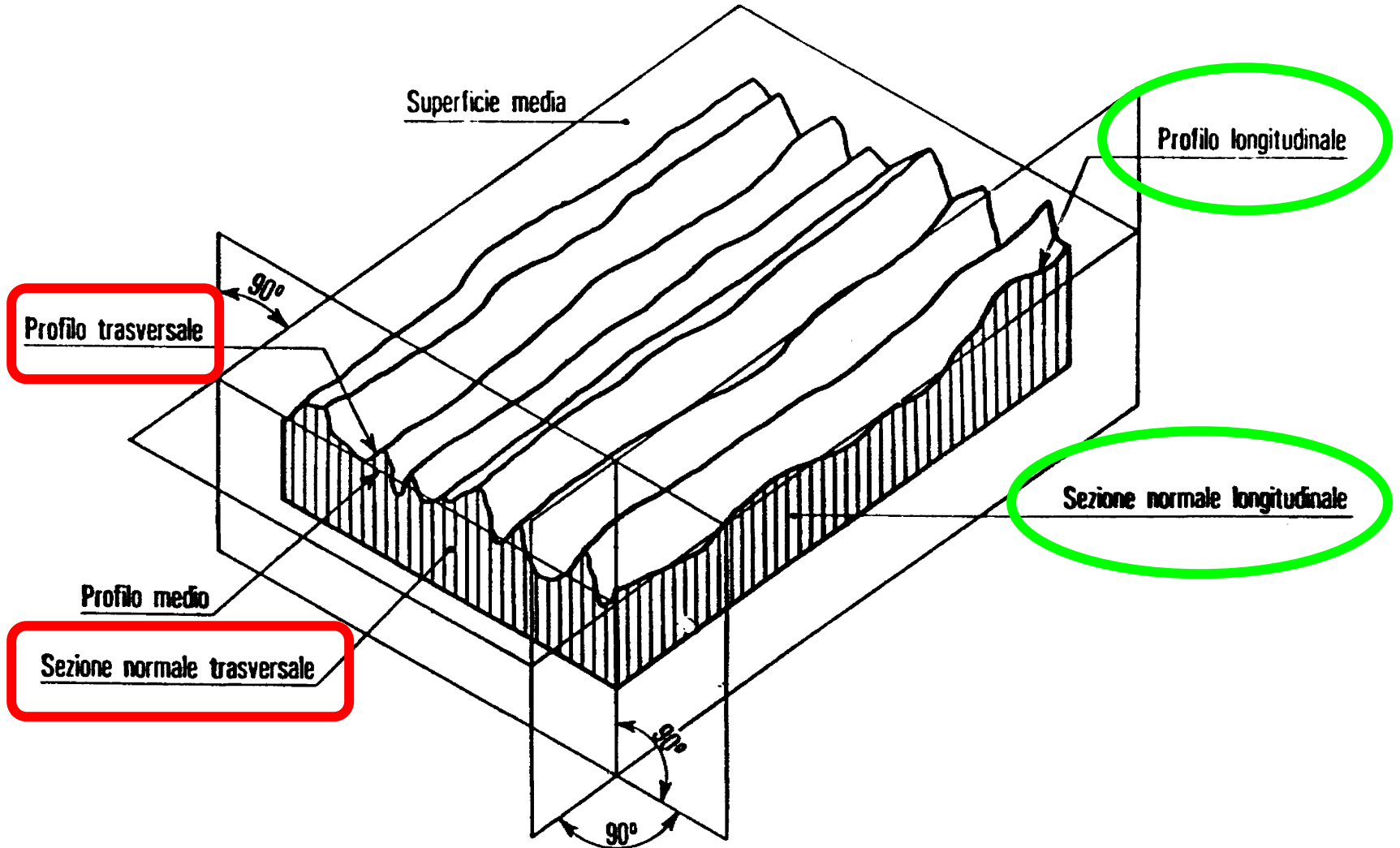


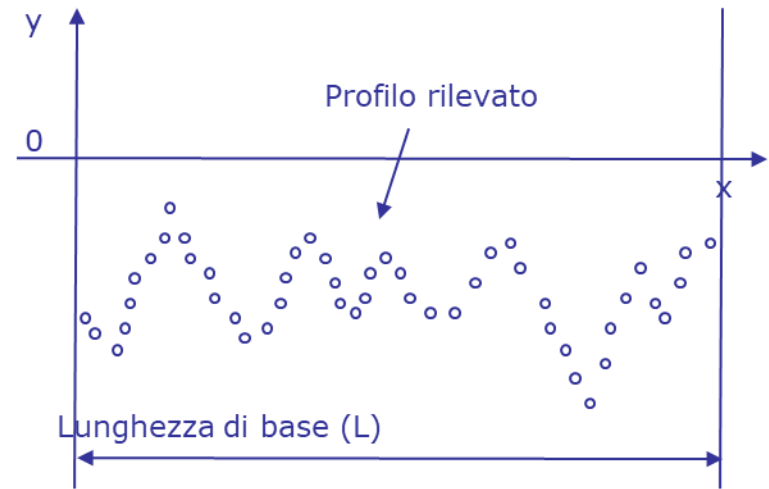
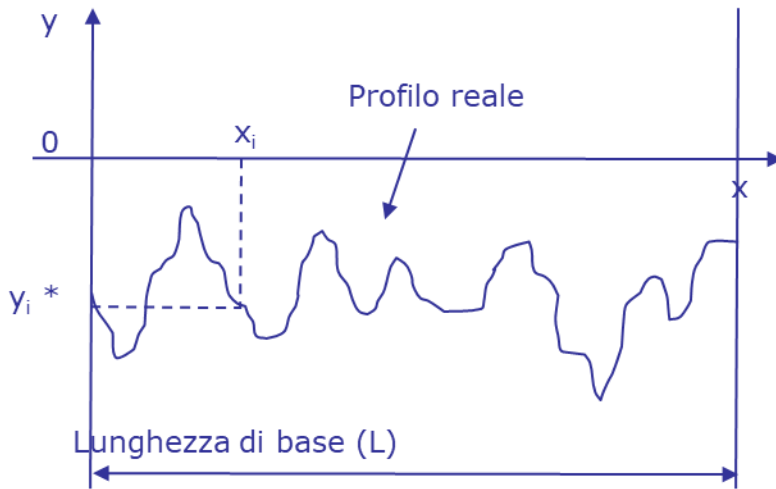
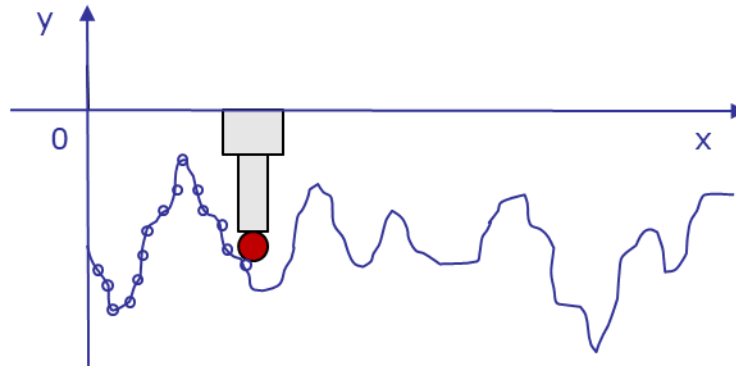
Piano di rilievo: piano ortogonale alla superficie nominale dell'elemento o componente meccanico.

Profilo ideale o geometrico: intersezione del piano di rilievo con la superficie geometrica.

Profilo reale: intersezione del piano di rilievo con la superficie reale.



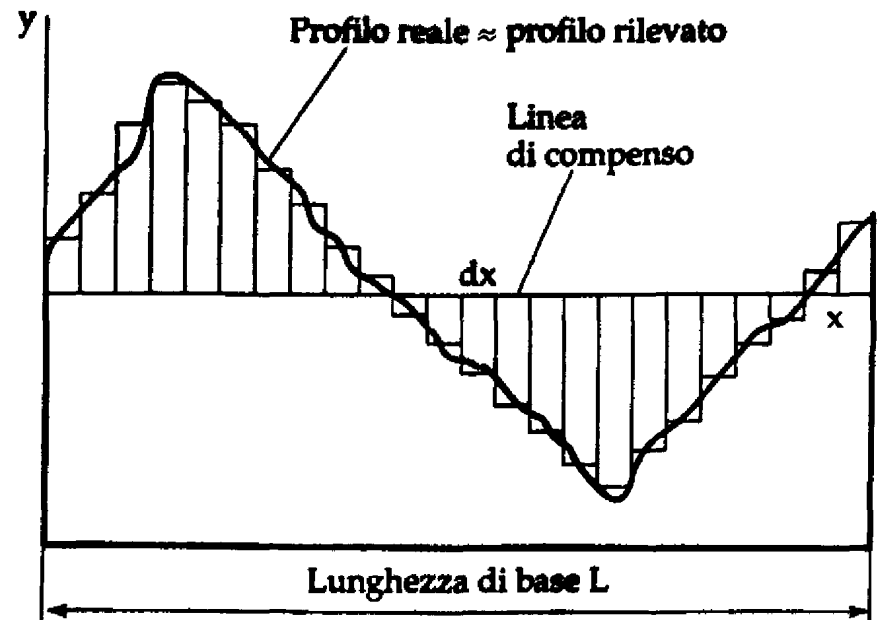




Il profilo rilevato è rappresentabile da una n-pla di coppie (x_i, y_i^*) e definisce il profilo reale per intervalli di misura sufficientemente piccoli.

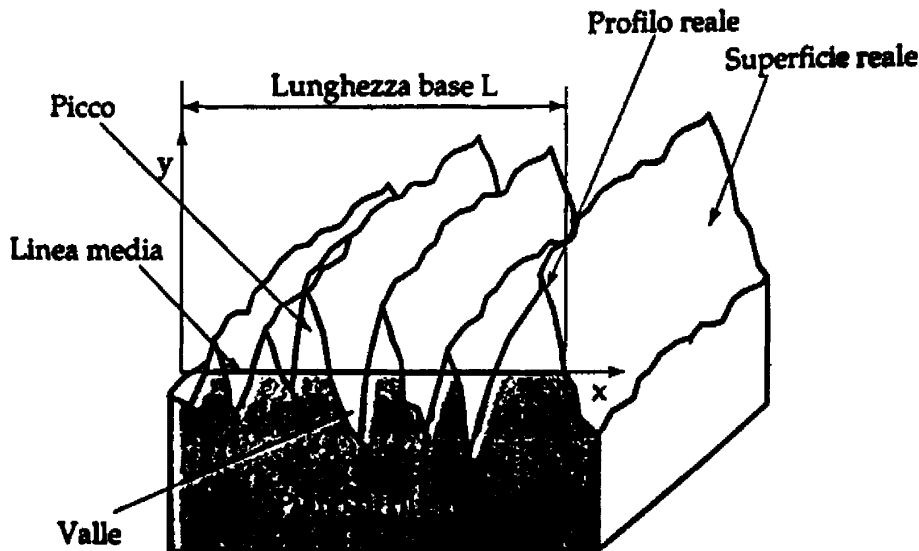
1. Rilievo del profilo per una “lunghezza di base o di campionatura”;
2. Individuazione del **profilo INVILUPPO ESTERNO** del **profilo reale** (in passato detto **profilo tecnico**);

3. Individuazione della **LINEA CENTRALE o DI COMPENSO**, parallela al profilo involuppo esterno del profilo reale, tale che la somma delle distanze dei picchi, rispetto ad essa, sia uguale alla somma delle distanze delle valli;



... ovvero, in maniera sintetica e rigorosa,.....

1. Individuazione della **LINEA MEDIA**, coincidente con la linea centrale: **linea avente la forma del profilo geometrico per la quale è minima la somma dei quadrati delle distanze da essa dei punti del profilo reale.**



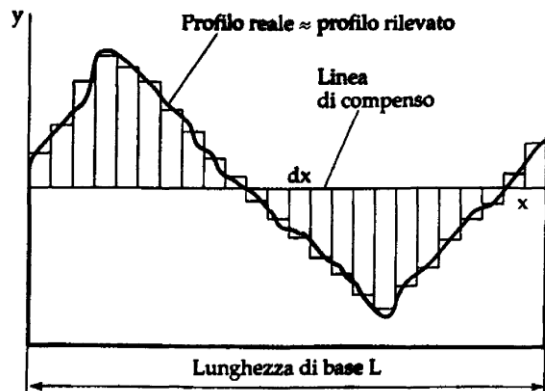
Somma algebrica delle ordinate, nel tratto di misura, pari a 0

Rugosità: (il valore medio delle n ordinate rilevate)

$$Ra = \frac{|y_1| + |y_2| + |y_3| + \dots + |y_n|}{n}$$

Ra = Roughness arithmetical average [μm]

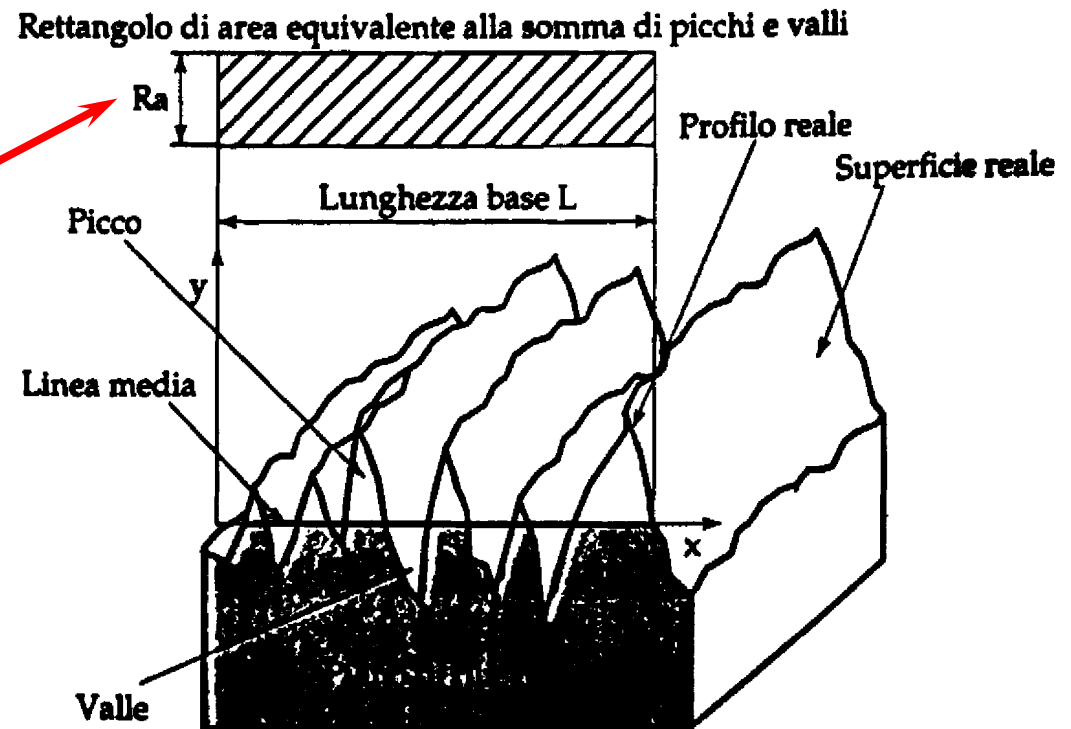
Con riferimento ai *rettangolini* costruiti utilizzando la linea media ed il profilo reale si può scrivere:



$$Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |y| dx$$

*L'integrale
rappresenta l'area
del rettangolo di
base L ed
altezza Ra*

$$Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |y| dx$$



Il **Rugosimetro** effettua le misurazioni su di una lunghezza detta di **lunghezza di esplorazione**, che risulta maggiore della Lunghezza Base. **La rugosità è pari al valor medio delle misure effettuate.**

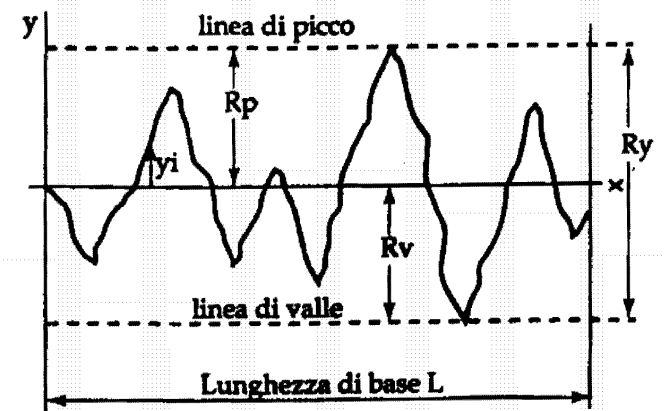
Se si introducono la linea di picco (parallela alla linea media e passante per il punto più alto del profilo) e la linea di valle, è possibile definire:

l'altezza massima di picco: R_p

la profondità massima di valle: R_v

La distanza tra le ultime due linee rappresenta:

l'altezza massima del profilo: R_y .



Altre indicazioni di rugosità:

Rz = media dei valori assoluti dei 5 picchi più alti e delle 5 valli più profonde.

Rc = media dei valori assoluti dei picchi e delle valli.

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L y^2 dx}$$

valore quadratico
medio delle ordinate del
profilo

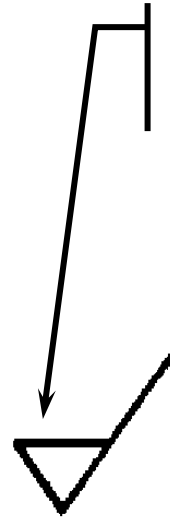
Norma di riferimento: **ISO 1302**

Segno base



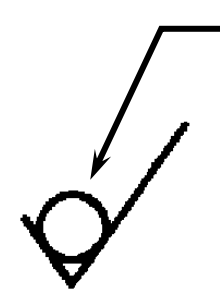
a

Richiesta lavorazione ad asportazione di truciolo



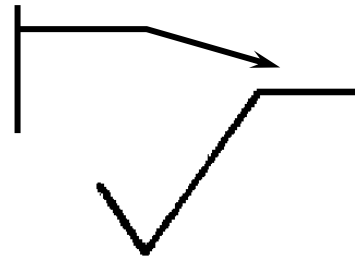
b

Asportazione non consentita



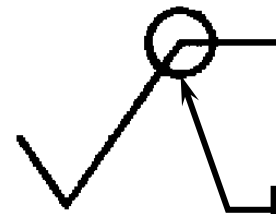
c

Tratto orizzontale per la specifica di particolari condizioni della superficie



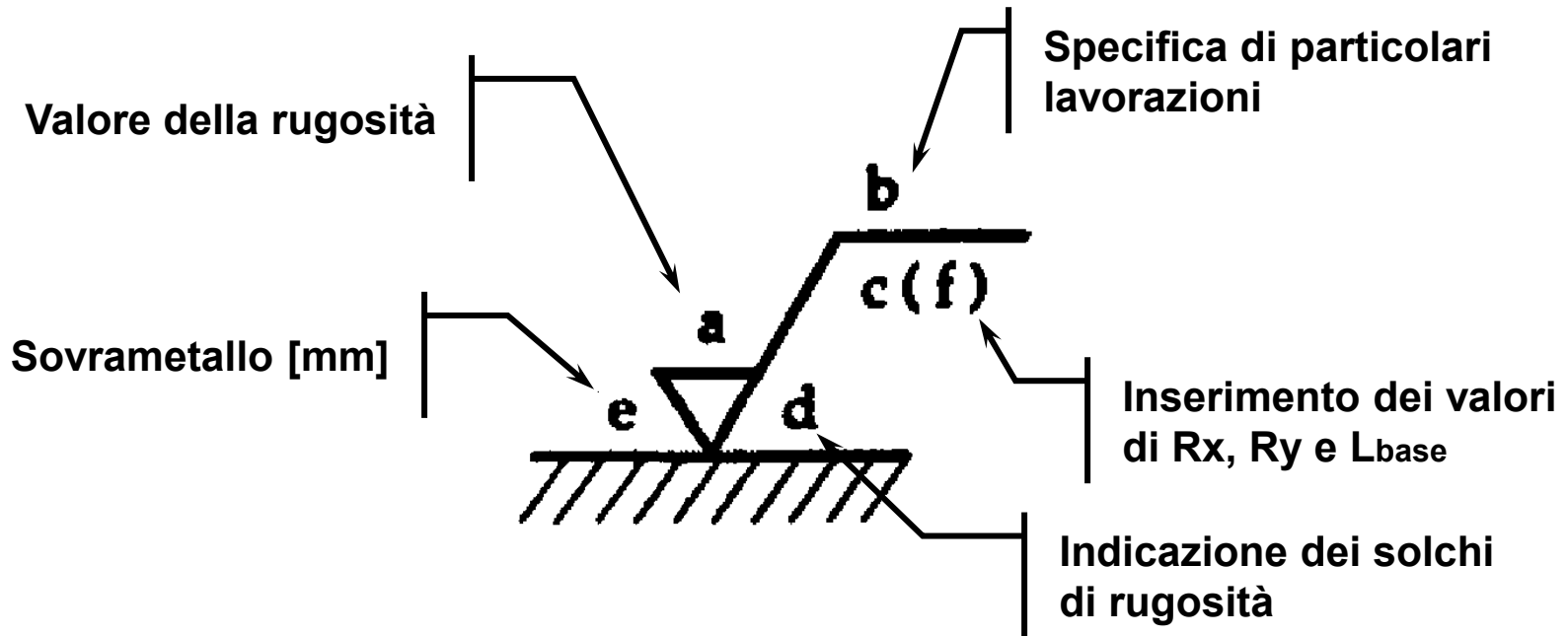
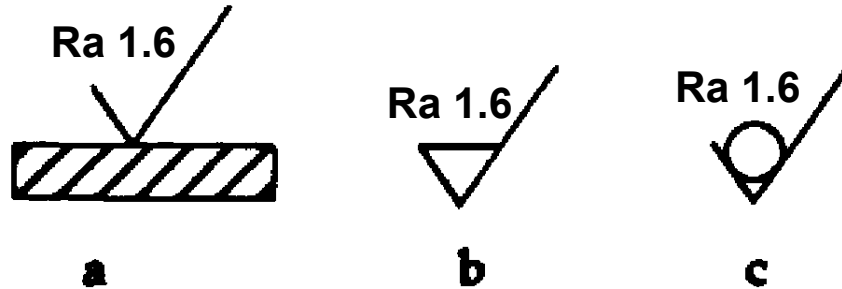
d

Condizione unica per tutte le superfici



e

*Indicazione
del valore di
Ra secondo
ISO 1302*



a) **brocciato** c)

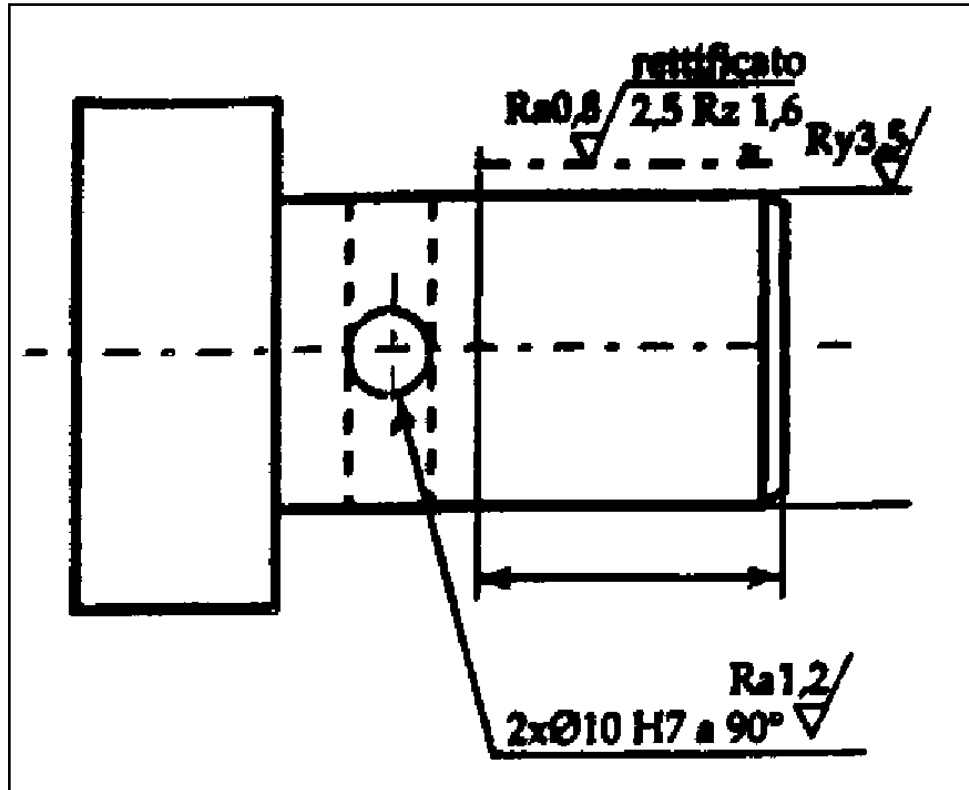
b) 2.5 d)

Indicazione di una brocciatura (a), di una lunghezza base di 2,5 mm (b), dell'orientamento dei solchi (c) e del sovramento (d).

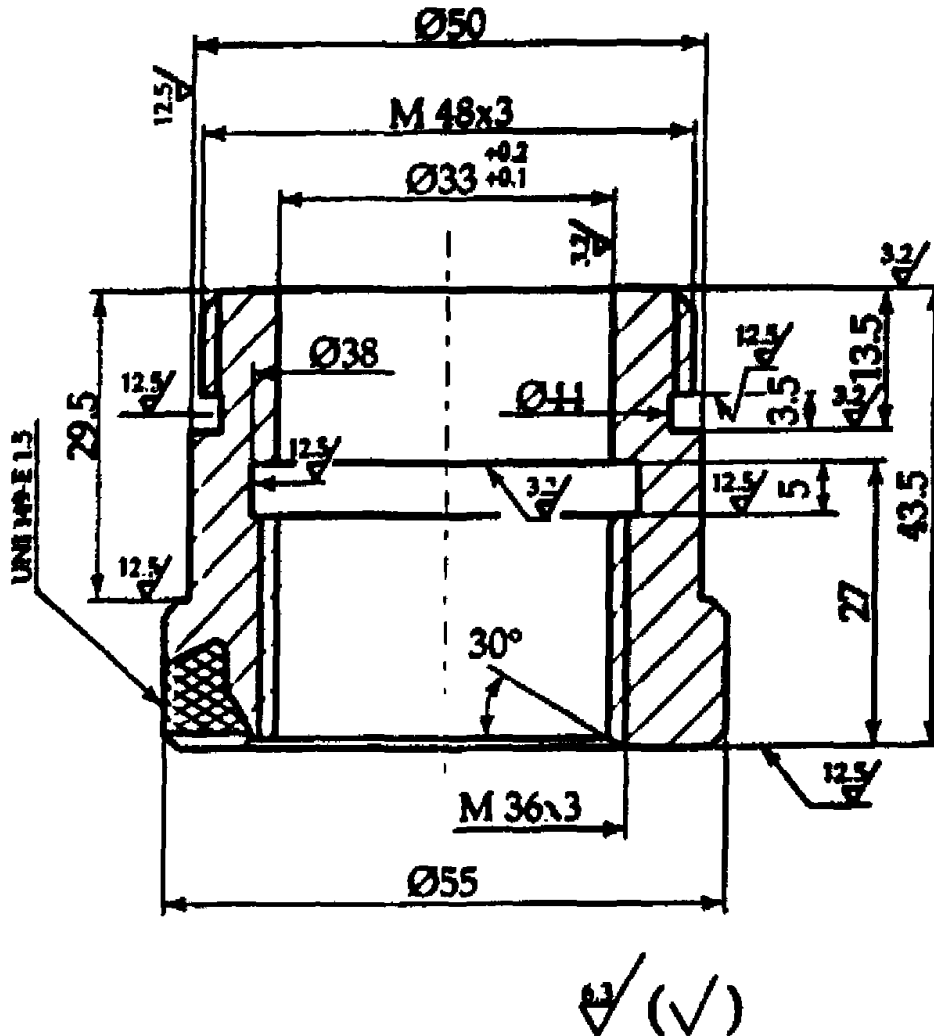
ISO 1302	Ra 1.6	Ra 1.6	Ra 1.6
UNI 4600	1.6	1.6	1.6

ISO 1302	UNI 4600
Ra 3.2 Ra 0.8	3.2 0.8

Superficie avente rugosità Ra di valore massimo 3,2 μm e minimo 0,8 μm

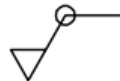


L'indicazione di stato superficiale può accompagnare direttamente la quota, come nel caso dei fori nel disegno. La superficie del pezzo limitatamente al tratto indicato prevede una rugosità $Ra = 0,8 \mu m$, misurata parallelamente al profilo, con un valore $Rz = 1,6 \mu m$ misurato su una lunghezza di base di $2,5 mm$. Su tutta la lunghezza l'altezza massima del profilo non deve superare $3,5 \mu m$.



Il segno grafico deve puntare dal lato esterno del materiale del pezzo, sulla linea che rappresenta la superficie o sulla linea di prolungamento della superficie. La rugosità generale è $Ra = 6,3$, ma esistono anche altre finiture.

ISO 1302:2002



ISO 21920:2022



Segno base

Ammesso qualsiasi processo di lavorazione

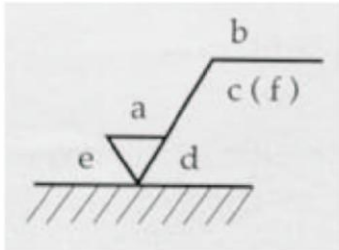
Richiesta di lavorazione con asportazione di materiale

Non ammessa lavorazione con asportazione di materiale

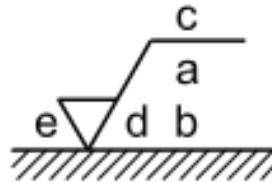
Aggiunta del tratto orizzontale per specificare caratteristiche della superficie

Aggiunta del cerchio - indica che la specifica si applica a tutte le superfici del profilo

ISO 1302:1999



ISO 1302:2002



ISO 21920:2022

$$\sqrt{\frac{[s][t]}{[a]\langle b \rangle \langle c \rangle [d] / [e][f] - [g][h] ([m])[n][p] / [q][r]}}{[u]}}$$

a: tipo di tolleranza

b: simbolo del tipo di rugosità (Ra, Rz, ecc.)

c: valore limite di tolleranza della rugosità

d: regole di accettabilità

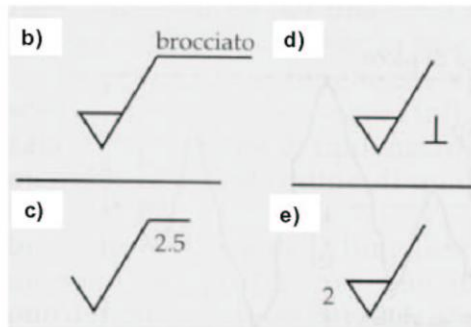
m: lunghezza di base

s: processo di fabbricazione

t: direzione dei solchi di rugosità

<> - parametro obbligatorio

[] - parametro opzionale



a: requisito principale (es. Ra, Rz, ecc.)

b: ulteriori requisiti

c: caratteristica della superficie (es. rettificare, ecc.)

d: direzione dei solchi di rugosità

e: sovrametallo [mm]

Simboli per la direzionalità dei solchi

ISO 1302:2002

=	Solchi paralleli al piano di proiezione della vista sulla quale è applicato il segno grafico	
⊥	Solchi perpendicolari al piano di proiezione della vista sulla quale è applicato il segno grafico	
X	Solchi incrociati in due direzioni oblique rispetto al piano di proiezione della vista sulla quale è applicato il segno grafico	
C	Solchi approssimativamente circolari rispetto al centro della superficie alla quale è applicato il segno grafico	
R	Solchi approssimativamente radiali rispetto al centro della superficie alla quale è applicato il segno grafico	
M	Solchi multidirezionali	
P	Solchi senza direzioni particolari e non sporgenti	

ISO 21920:2022

Indicazioni che richiedono la specifica di un riferimento

Graphical symbol	Example of indication	Interpretation	Required direction of lay
=		Parallel to the direction, given by the intersection plane indicator and the datum feature indicator.	
⊥		Perpendicular to the direction, given by the intersection plane indicator and the datum feature indicator.	
X		Crossed in two oblique directions relative to the direction, given by the intersection plane indicator and the datum feature indicator.	

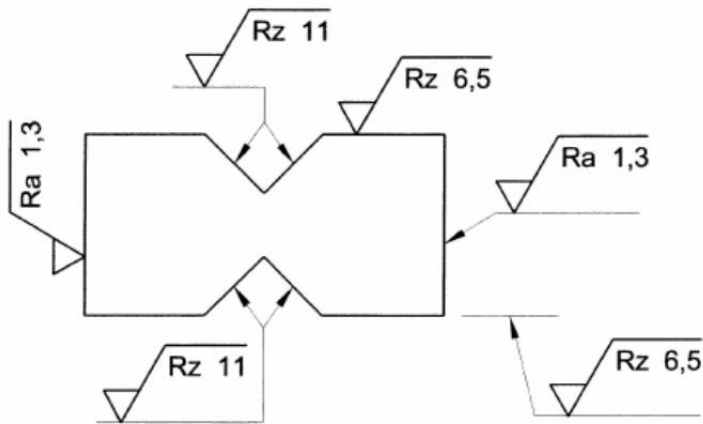
Key
1 Required direction of lay

Indicazioni che **non** richiedono la specifica di un riferimento

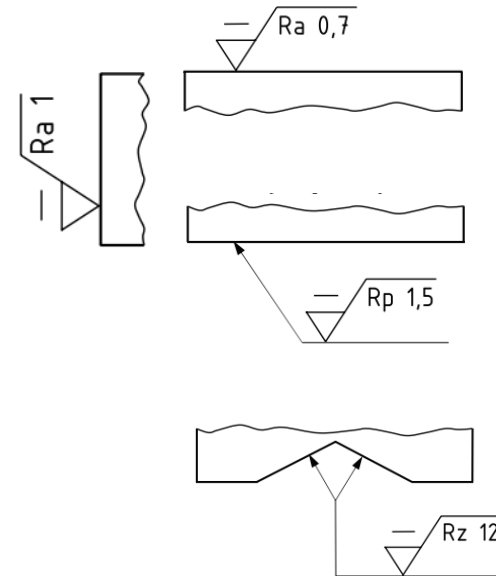
Graphical symbol	Interpretation and example
M	Multidirectional
C	Circular relative to centre of surface to which symbol applies
R	Radial relative to centre of surface to which symbol applies
P	Lay is particulate, non-directional or protuberant

Posizione delle iscrizioni di rugosità

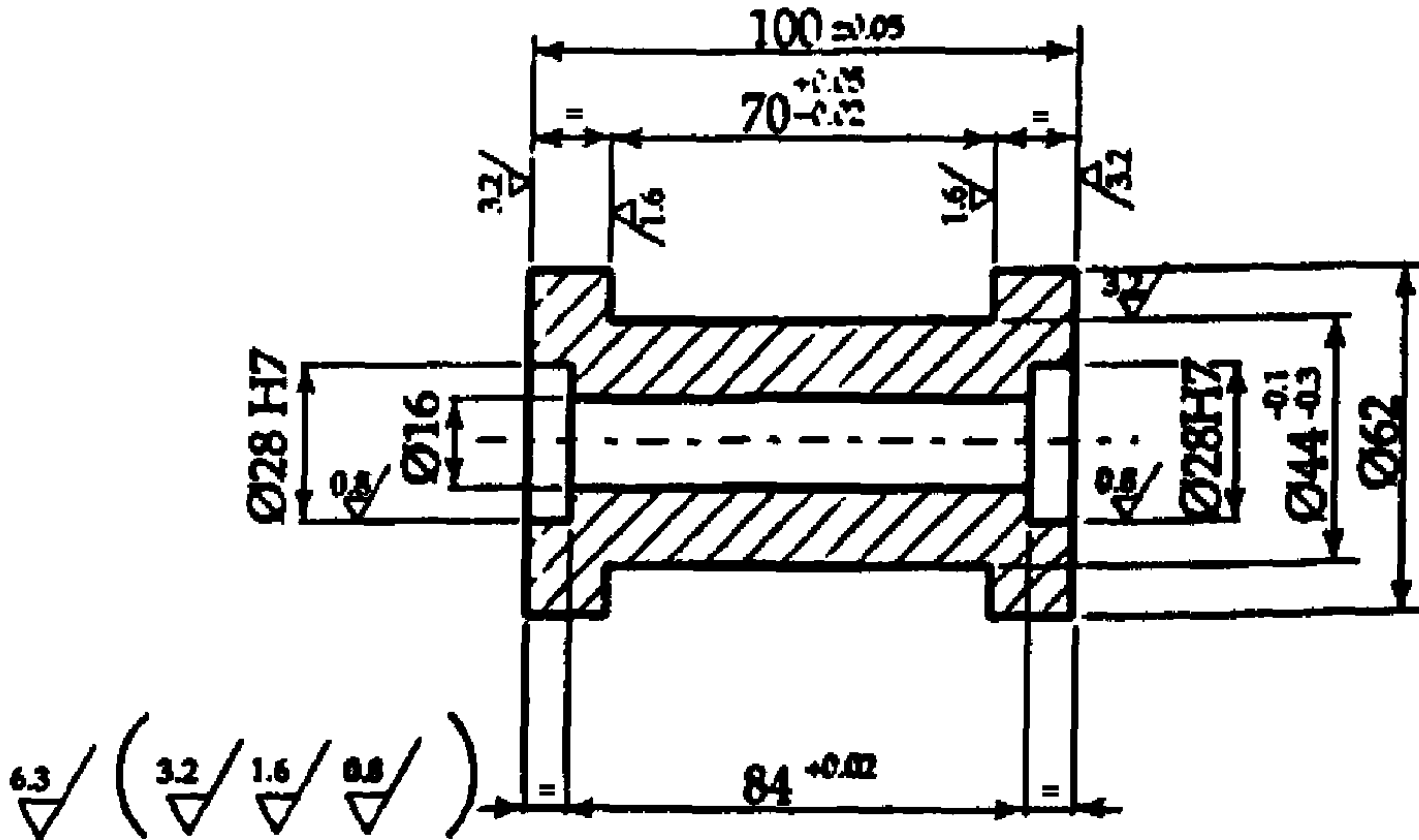
ISO 1302:2002



ISO 21920:2022



Le iscrizioni devono essere orientate in modo da essere letti **dalla base** oppure **dal lato destro** del disegno!



Esempi di indicazione di **rugosità generale**

=

Solchi paralleli al piano di proiezione della vista sulla quale è applicato il segno grafico



⊥

Solchi perpendicolari al piano di proiezione della vista sulla quale è applicato il segno grafico



X

Solchi incrociati in due direzioni oblique rispetto al piano di proiezione della vista sulla quale è applicato il segno grafico



**Segni grafici per l'indicazione della
direzione dei solchi di rugosità**

C

Solchi approssimativamente circolari rispetto al centro della superficie alla quale è applicato il segno grafico



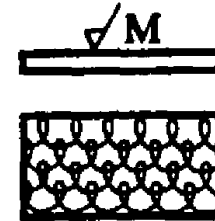
R

Solchi approssimativamente radiali rispetto al centro della superficie alla quale è applicato il segno grafico



M

Solchi multidirezionali



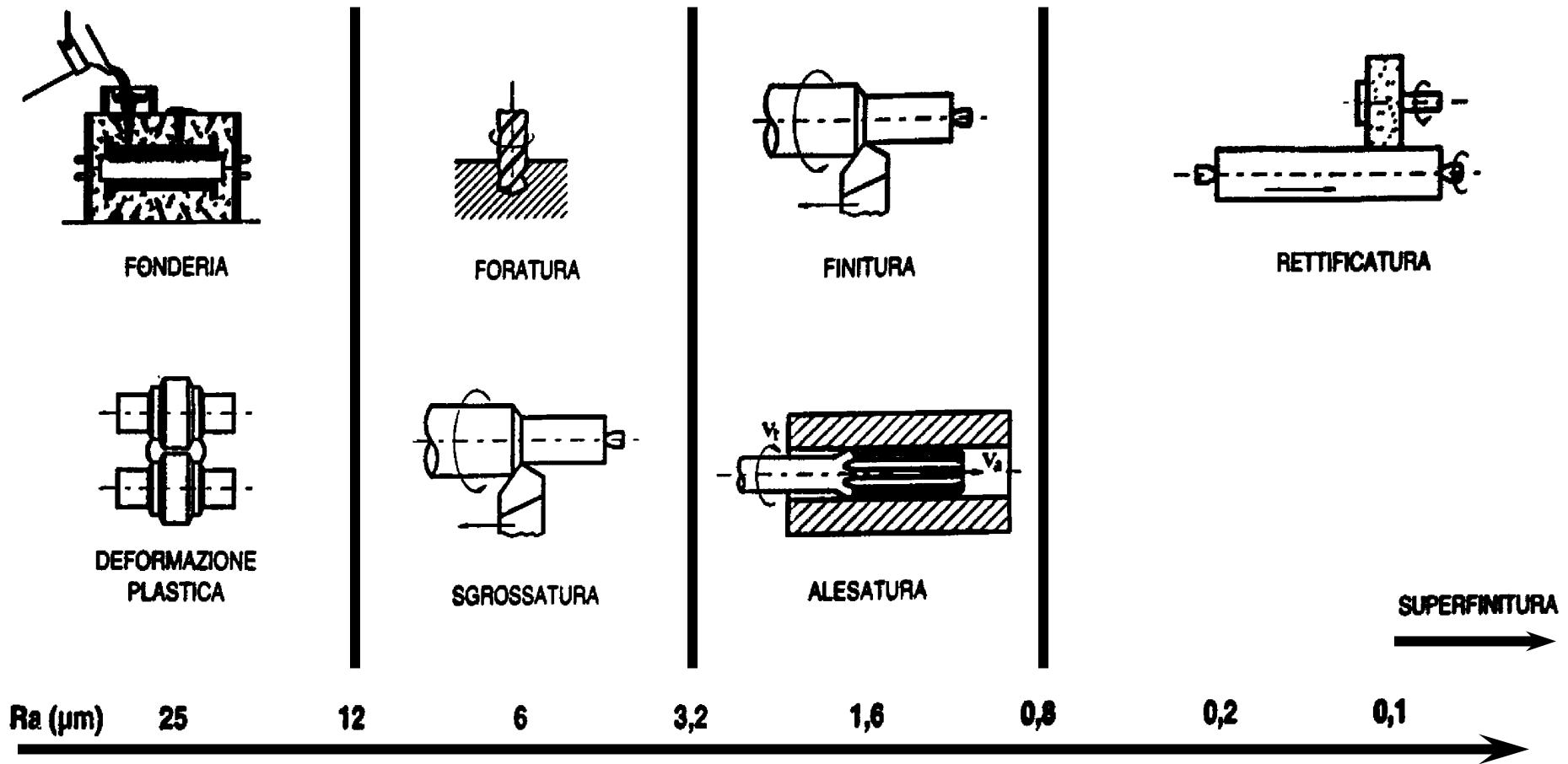
P

Solchi senza direzioni particolari e non sporgenti



Segno grafico	Significato	INDICAZIONE DELLO STATO DELLE SUPERFICI MEDIANTE LA RUGOSITÀ R_a
	Superficie superfinita	
	Superficie rettificata	
	Superficie lisciata ottenuta mediante lavorazione d'utensile a macchina od a mano	
	Superficie sgrossata, ottenuta mediante lavorazione d'utensile a macchina od a mano	
	Superficie grezza liscia	

Conversione dei vecchi simboli di rugosità nei valori R_a

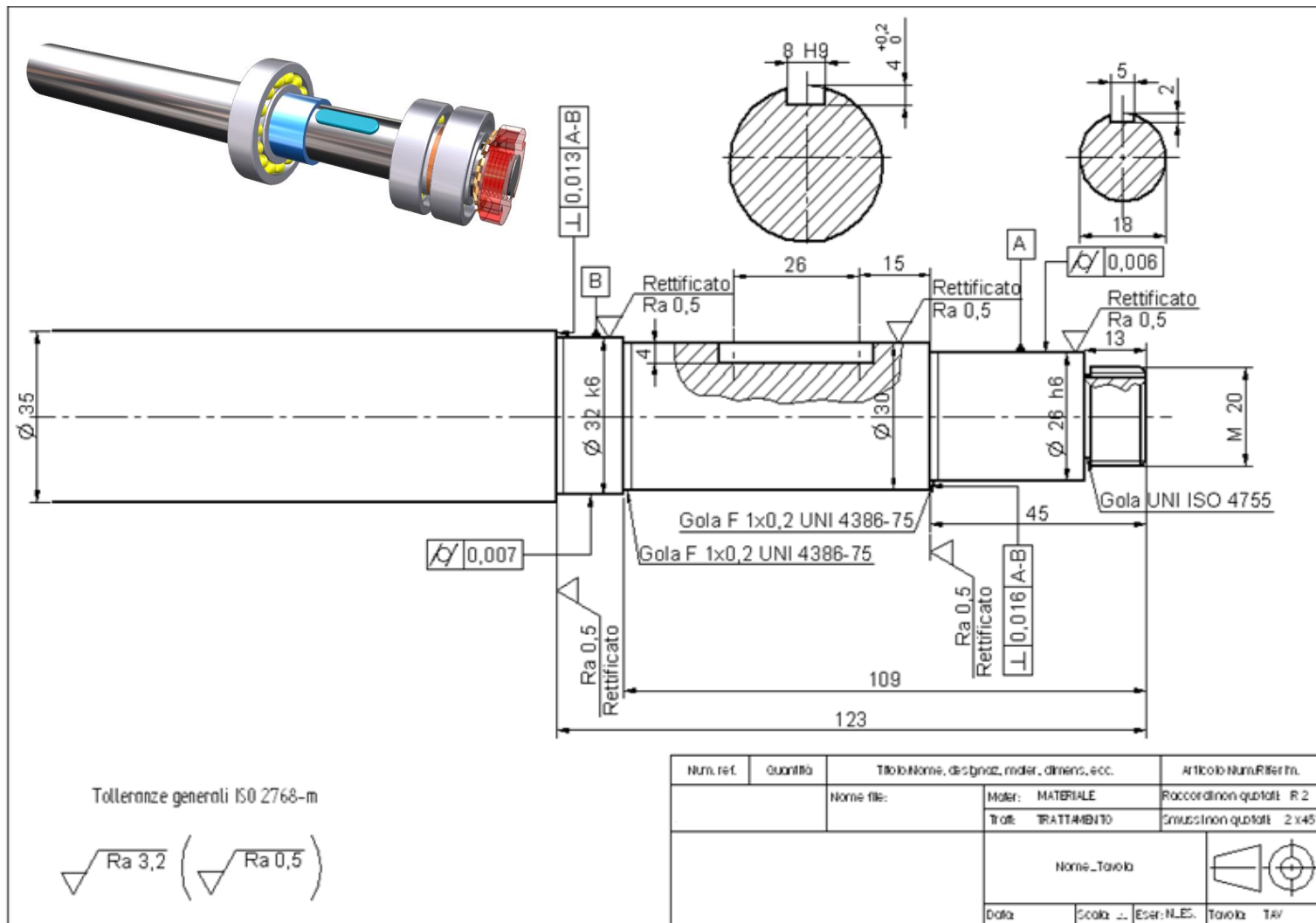




VALORI ORIENTATIVI DELLA RUGOSITÀ R_a PER ALCUNE APPLICAZIONI

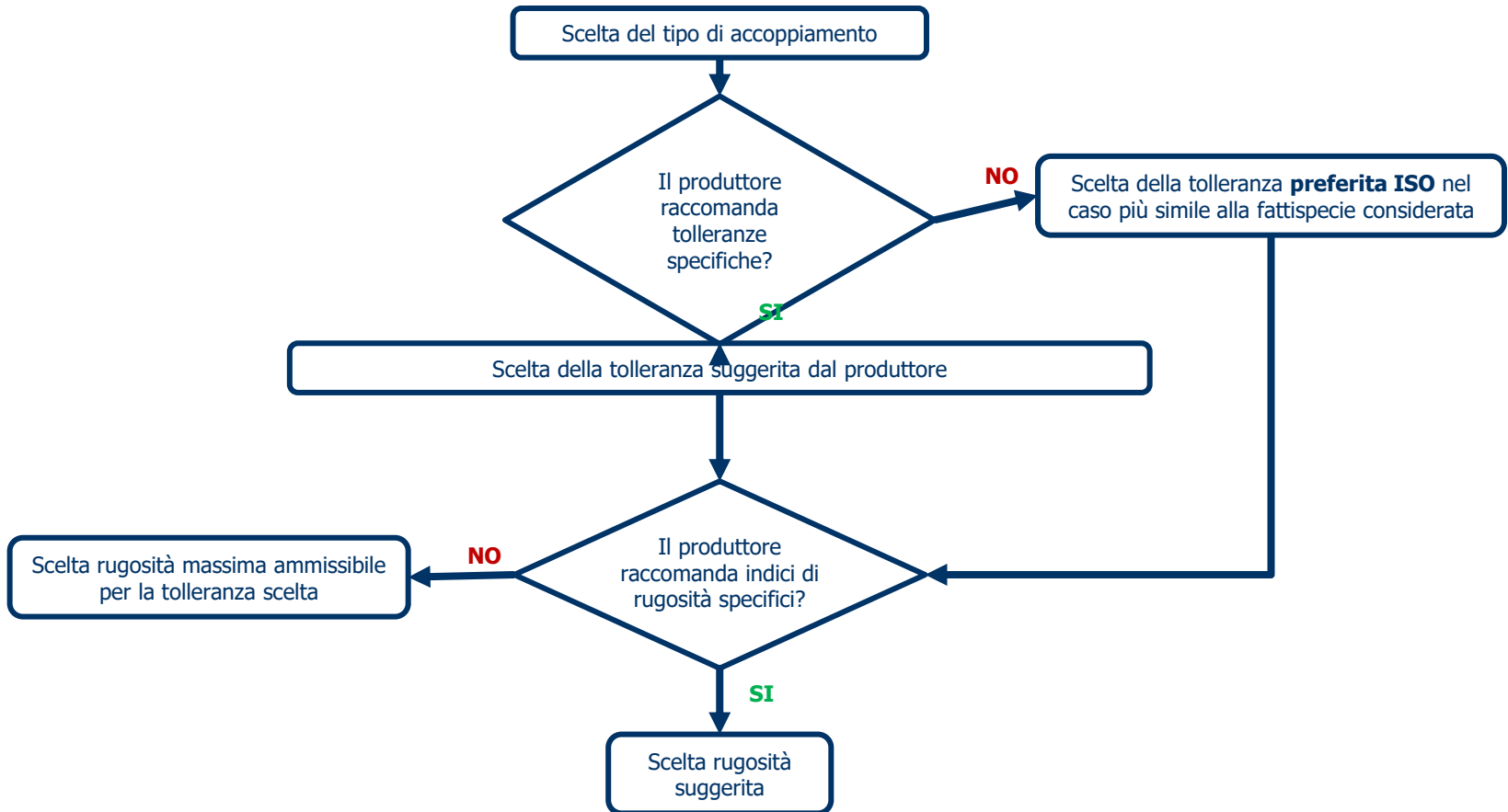


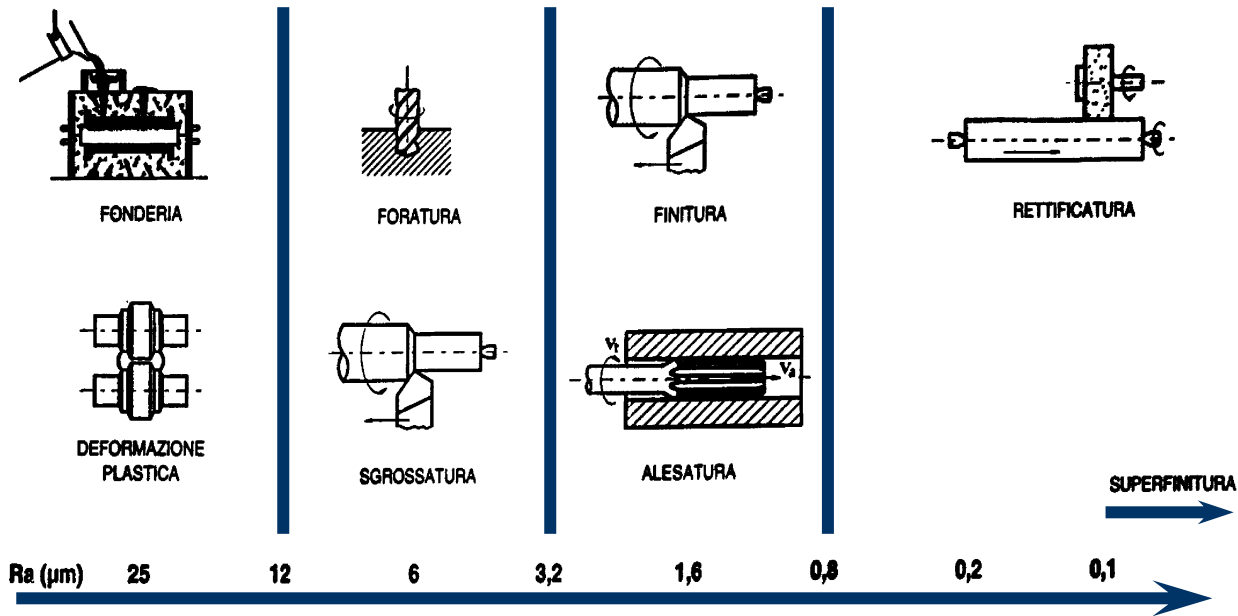
RUGOSITÀ R_a (μm)	APPLICAZIONI
0,025	Piani di appoggio di micrometri, specchi e blocchi di riscontro
0,05	Facce calibri di officina e piani di appoggio comparatori
0,1	Facce calibri a corsoio, calibri di precisione
0,2	Supporti alberi a gomito ed alberi a camme, superficie camme
0,4	Alberi scanalati, cuscinetti alberi motore, diametro esterno stantuffi
0,8	Tamburi, freni, fori brocciati, denti ingranaggi
1,6	Faccia pistone, teste cilindro
3,2	Perni e cuscinetti per trasmissioni a mano
6,3	Superfici di tenuta di flange con guarnizioni comuni



Grado IT	Sup. cilindriche (diametro in mm)		
	Oltre 3 fino a 18	Oltre 18 fino a 80	Oltre 80 fino a 250
	Rugosità Ra massima (μm)		
6	0,32	0,5	0,8
7	0,5	0,8	1,25
8	0,8	1,25	2
9	1,25	2	3,2

Il controllo della rugosità è associato sempre al controllo delle tolleranze: la tabella mostra il legame tra grado di tolleranza e rugosità massima da prescrivere su superficie cilindriche.

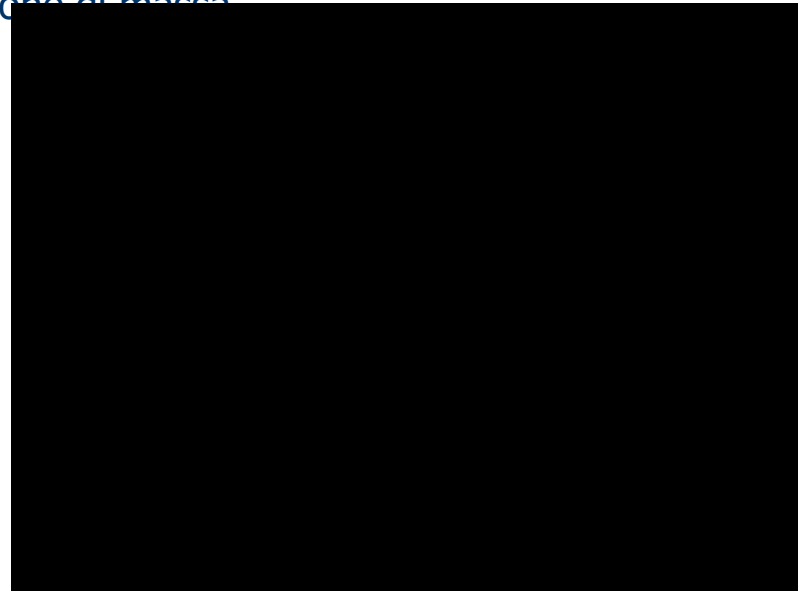




Metodi di fabbricazione		Rugosità Ra in μm														
Gruppo	Descrizione	0,006	0,012	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50	
Fusione	Colata in sabbia	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]														
	Colata in conchiglia o in guscio	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]														
	Pressofusione	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]														
	Microfusione	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]														
Formatura	Stampaggio al maglio, fucinatura	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]														
	Laminazione, rullatura	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]														
	Imbutitura profonda	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]														
	Estrusione	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]														
	Coniatura	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]														
	Laminazione dei profilati	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]														
	Troncatura	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]														
Asportazione di materiale	Tornitura cilindrica	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]														
	Tornitura di sfacciatura	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]														
	Tornitura di gole	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]														
	Piallatura	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]														
	Limatura a macchina	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]														
	Sbarbatura	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]														
	Foratura	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]														
	Alesatura	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]														
	Allargatura	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]														
	Lisciatura	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]														
	Fresatura periferica tangenziale e frontale	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]														
	Brocciatura	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]														
	Rettifica cilindrica	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]														
	Rettifica di sfacciatura	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]														
	Rettifica cilindrica a tuffo	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]														
	Rettifica Front. piana, e tang. circonferenz. piana	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]														
	Levigatura	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]														
	Smerigliatura	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]														
	Superfinitura	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]														
	Lappatura di piani e cilindrica	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]														
Lavorazione a ultrasuoni	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]															
Lucidatura	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]															
Barilatura	[Bar chart showing Ra range from 0.006 to 50]															

Rettifica Ra 0,4 - 3,2

- E' uno dei processi di finitura fondamentali per la produzione e creazione di utensili
- Adatto a vari materiali, preferibilmente duri (data la piccola profondità di passata)
 - Adatto alla produzione di massa



Barenatura e alesatura Ra 0,2 - 3,2

Barenatura

- Utensile monotagliante (*bareno*)
- Necessita di più sovrametallo rispetto all'alesatura
- Lo stesso utensile può essere usato per finire fori di diametro diverso.
- Il centraggio del preforo non è critico, poiché la barenatura corregge eventuali disallineamenti



Alesatura

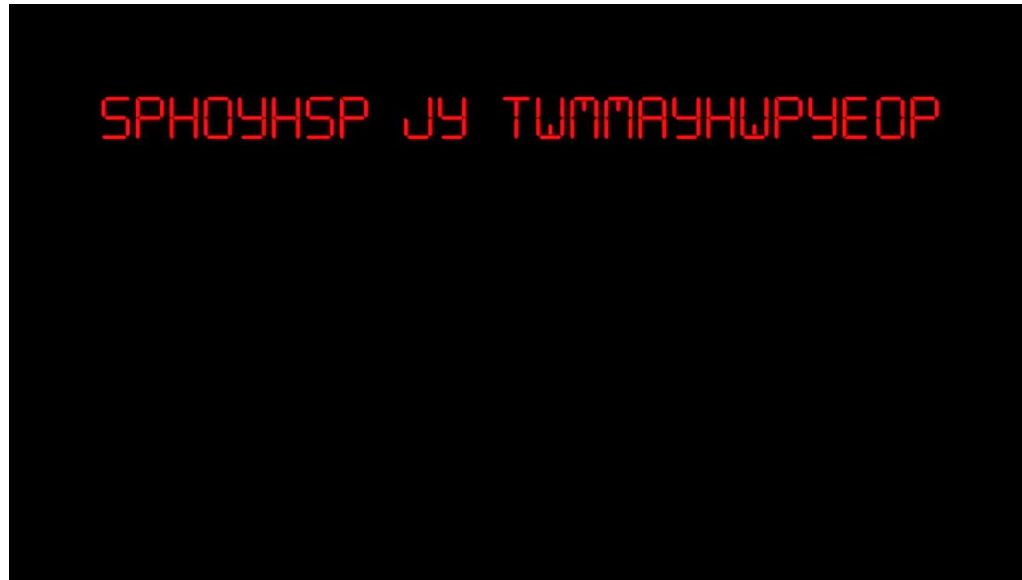
- Utensile di forma (alesatoio)
 - Poco sovrametallo
- La testa segue eventuali disallineamenti del foro
 - Ottima finitura
- Utensile più durevole



SPHOYHSP JY TWMMAYHWPYEOP

Levigatura Ra 0,012 – 0,4

- Finitura con controllo della trama superficiale



Barilatura Ra 0,025 – 0,1

- Avviene per **rotolamento e urto dei pezzi in un barile** (*buratto*) con pietre abrasive sagomate allo scopo
- Tipicamente usata per la rimozione meccanica di residui di substrato, in particolare bava, dovuti al processo di produzione (es. stampaggio, colata in terra, ecc.)
- Particolarmente adatta per finire un numero elevato di pezzi di piccole dimensioni
- Eventualmente può essere effettuata in immersione liquida allo scopo di conferire particolari proprietà superficiali

