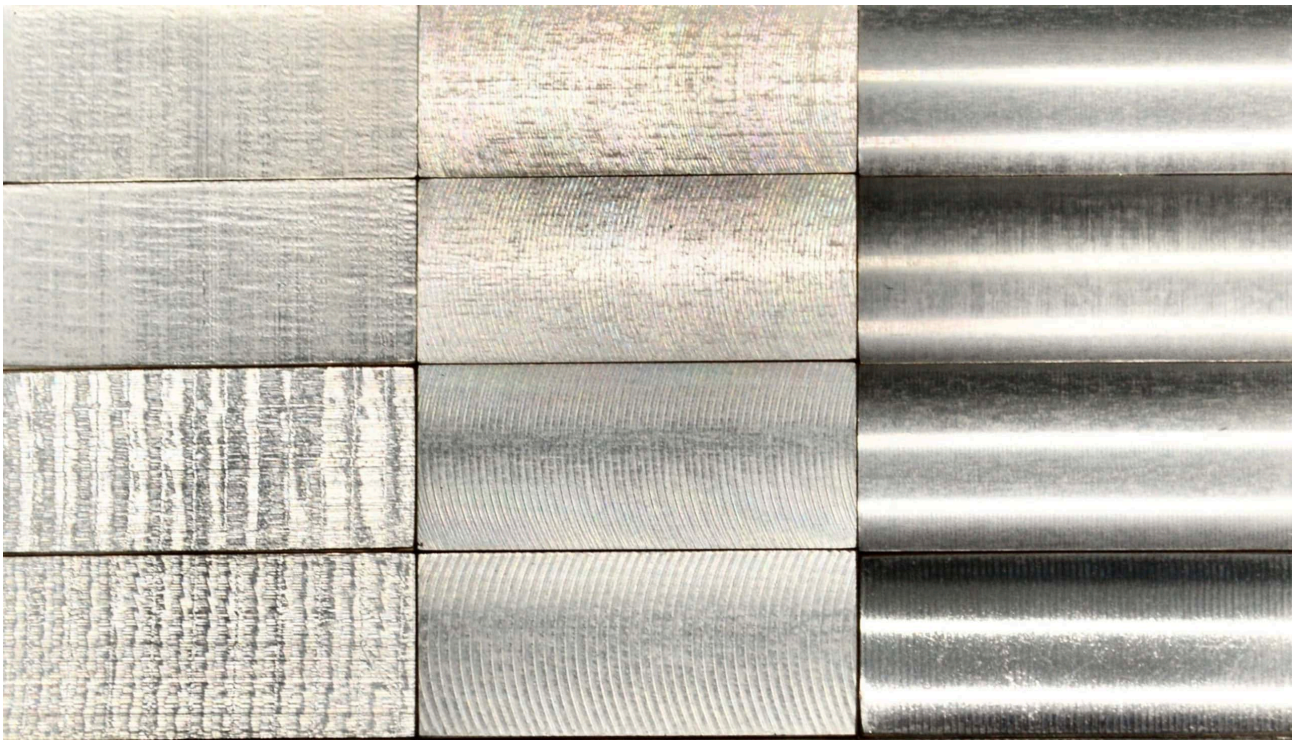
Rugosità superficiale della lavorazione CNC: indicatori principali e diversi livelli di rugosità

xometry.pro/it/articoli/lavorazione-cnc-rugosita-superficiale



Indice

- Che cosa è la rugosità superficiale della lavorazione CNC
- Livelli comuni di rugosità superficiale della lavorazione CNC
- Come le operazioni di post-elaborazione influenzano la rugosità superficiale delle parti lavorate
- Come si misura la rugosità superficiale?
- Indicatori di rugosità superficiale per lavorazioni CNC
- Gradi di rugosità superficiale
- Gradi di rugosità ottenibili e non ottenibili con la lavorazione CNC
- Come scegliere la rugosità superficiale più adatta per la lavorazione CNC
- Ordinazione di parti lavorate al CNC
- Ra – Rz – N Strumento di conversione della rugosità superficiale

Che cosa è la rugosità superficiale della lavorazione CNC

La rugosità superficiale della lavorazione CNC misura le imperfezioni o la consistenza sulla superficie di una parte lavorata. Va pensata come le protuberanze e le scanalature che si vedrebbero al microscopio: si tratta di piccoli dettagli non visibili ad occhio nudo. Anche dopo processi come la sabbiatura, la lucidatura o altre finiture superficiali applicate,

potrebbe rimanere un certo grado di rugosità. Queste irregolarità superficiali sono un risultato intrinseco della lavorazione CNC, un processo di produzione sottrattivo in cui il materiale viene rimosso dai pezzi in lavorazione utilizzando utensili da taglio. I tagli lasciati da questi utensili formano irregolarità, spesso invisibili ad occhio nudo.

La rugosità superficiale è fondamentale per determinare le prestazioni delle parti lavorate tramite CNC, poiché influenza direttamente parametri chiave come il coefficiente di attrito, il livello di rumore, l'usura, la generazione di calore e l'adesività. Se vi siete chiesti perché alcuni componenti si adattino perfettamente ed altri no, è tutto merito della tolleranza e della rugosità. Questi fattori sono essenziali per selezionare il livello di rugosità superficiale più appropriato per applicazioni specifiche, rendendolo una considerazione essenziale per progettisti e produttori.

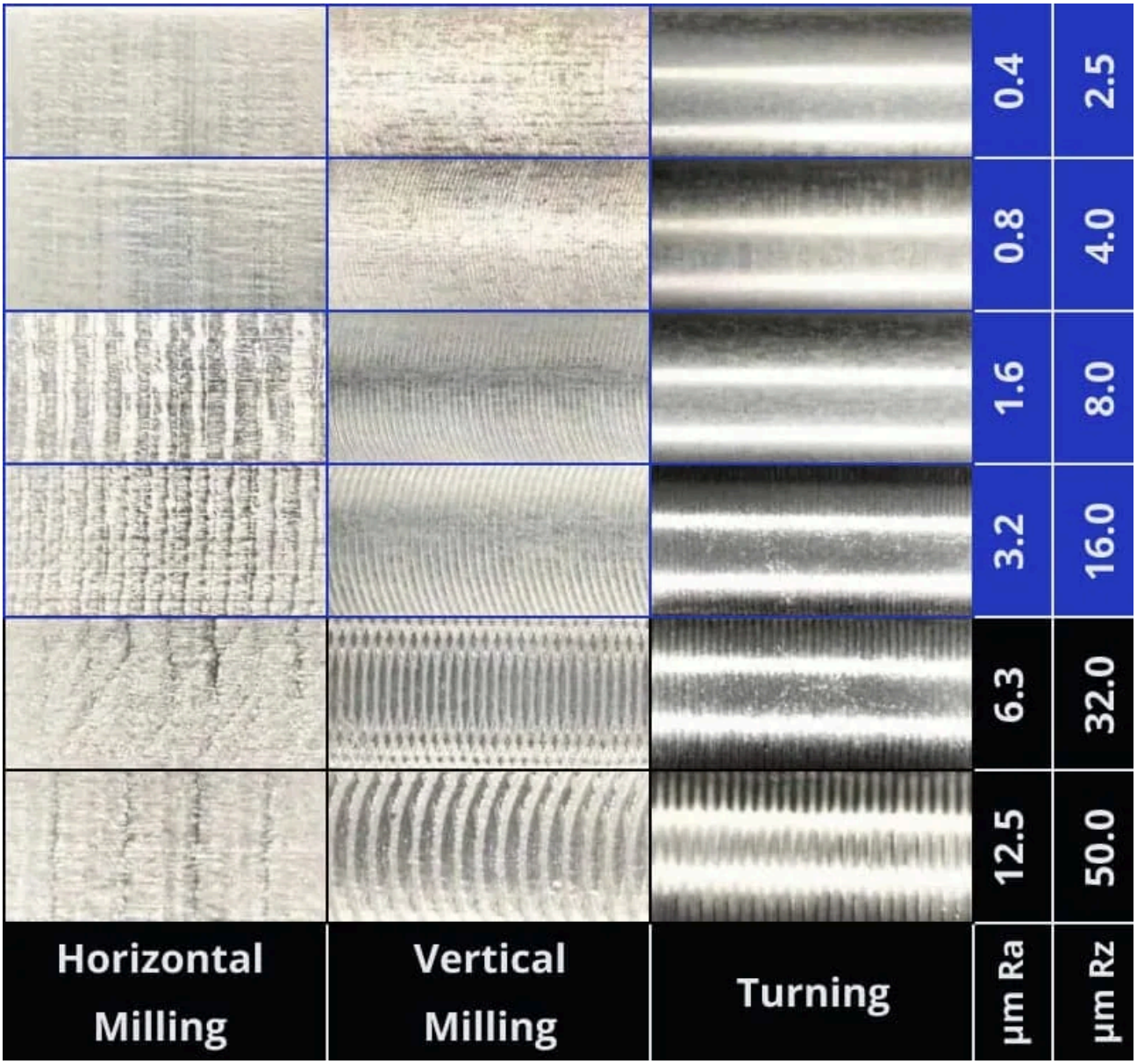
La rugosità superficiale non è sempre una componente indesiderata. Non si tratta solo di rendere le cose il più lisce possibile. In alcune parti lavorate al CNC, sono richiesti livelli di rugosità specifici come parte delle linee guida di realizzazione del prodotto. Ad esempio, alcune parti lavorate possono fare affidamento su superfici più ruvide per migliorare l'aderenza o le prestazioni in condizioni specifiche. I produttori potrebbero dover perfezionare le irregolarità della superficie per soddisfare la funzione prevista della parte lavorata, evidenziando l'importanza di valutare attentamente e specificare i livelli di ruvidità della superficie nel processo di produzione.

Livelli comuni di rugosità superficiale della lavorazione CNC

Analizziamolo in applicazioni reali. La tabella seguente illustra i livelli comuni di rugosità superficiale delle lavorazioni CNC, le applicazioni consigliate e l'impatto sui tempi e sui costi di lavorazione.

Tipo di rugosità superficiale	Applicazioni raccomandate	Tempo di lavorazione CNC	Impatto sul prezzo
3.2 µm Ra	Adatto per parti soggette a stress, carichi e vibrazioni. Staffe, coperture di motori per automobili, attrezzature di utensili generali e telai di macchine.	Richiede meno tempo poiché non sono necessari ulteriori processi di produzione.	Finitura di base per le parti; nessun costo aggiuntivo

Tipo di rugosità superficiale	Applicazioni raccomandate	Tempo di lavorazione CNC	Impatto sul prezzo
1.6 µm Ra	Ideale per superfici a movimento lento con carichi leggeri, come steli di pistoni idraulici, riduttori a bassa velocità, elementi di fissaggio di precisione e alloggiamenti elettronici.	Richiede condizioni controllate, che aumentano i tempi di produzione.	Aumenta i costi del ±2,5%. Le parti più complesse avranno costi più elevati.
0.8 µm Ra	Ideale per applicazioni ad alto stress o superfici con movimento occasionale, come componenti di valvole idrauliche e alloggiamenti elettronici.	Prodotto in condizioni altamente controllate, aumentando i tempi di produzione.	Aggiunge ±5% ai costi di produzione. Le parti più complesse avranno costi più elevati.
0.4 µm Ra	Consigliato per componenti ad alta velocità o ad alto stress, come steli di cilindri pneumatici, componenti ottici e stampi a iniezione di precisione.	Richiede lucidatura e processi avanzati, ed è quella che necessità di più tempo.	Aggiunge ±11-15% ai costi di produzione. Le parti più complesse avranno costi più elevati.



Esempi visivi dei livelli di rugosità superficiale

Come le operazioni di post-elaborazione influenzano la rugosità superficiale delle parti lavorate

Le tecniche di post-elaborazione, come la pallinatura, l'elettrolucidatura, l'anodizzazione, la placcatura e la verniciatura a polvere, possono influire sulla rugosità superficiale e sulle dimensioni complessive del componente. La tecnica di post-elaborazione influisce anche sulla finitura superficiale del componente realizzato. Per una finitura opaca o granulosa, si preferisce la pallinatura, mentre una finitura lucida e liscia può essere ottenuta tramite levigatura a vapore o elettrolucidatura. La scelta della tecnica giusta garantisce che i componenti soddisfino gli standard del settore e i requisiti prestazionali.

Come si misura la rugosità superficiale?

Ogni parte lavorata al controllo numerico che esce dalla linea di produzione ha un valore Ra specifico e altri indicatori assegnati. Questi vengono misurati con metodi avanzati che

non lasciano spazio a errori. Alcune delle tecniche più comunemente utilizzate includono:

- **Profilometro di contatto:** Utilizza un tastatore diamantato che scorre sulla superficie del pezzo lavorato e ne registra le flessioni.
- **Profilometro senza contatto:** Utilizza tecniche diverse per misurare la rugosità superficiale senza contatto fisico con il componente lavorato. Le tecniche comuni includono olografia digitale, triangolazione laser, microscopia confocale e profilometria ottica.
- **Microscopia a forza atomica (AFM):** Una tecnologia altamente avanzata, ideale per misurare la rugosità di superfici lisce. Utilizza sonde per scansionare con precisione le superfici di parti lavorate e fornisce una precisione a livello nanometrico.
- **Scansione 3D:** Crea mappe topografiche di superficie ed è una delle tecniche di misurazione della rugosità superficiale più avanzate

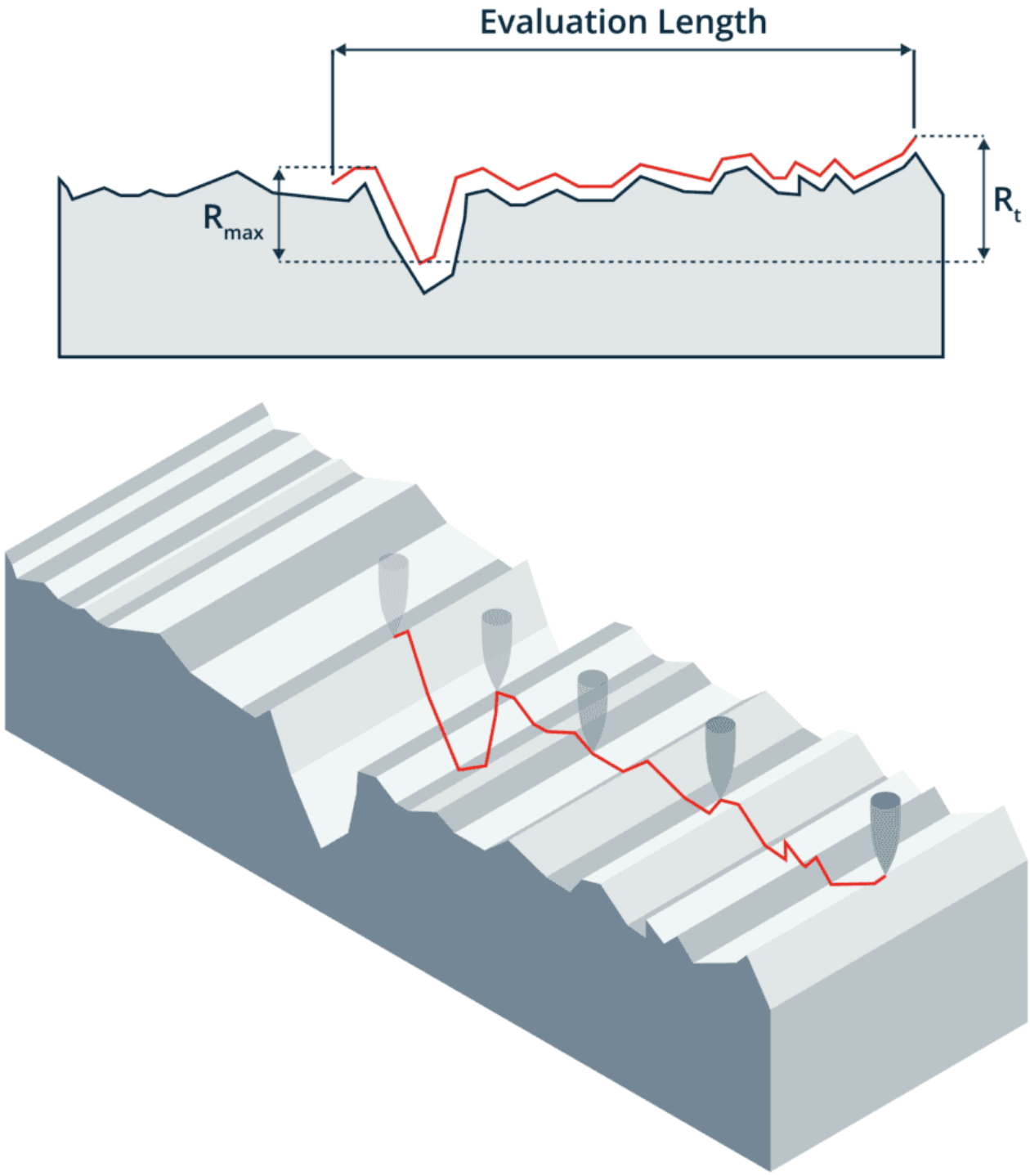


Illustrazione del calcolo della rugosità superficiale

Indicatori di rugosità superficiale per lavorazioni CNC

Gli indicatori di rugosità aiutano a determinare l'idoneità delle parti per applicazioni specifiche in base ai loro requisiti funzionali ed estetici. Di seguito è riportata una panoramica degli indicatori chiave di rugosità superficiale.

Ra (Rugosità media)

Il coefficiente **Ra** è calcolato come media aritmetica delle deviazioni assolute del profilo superficiale rispetto alla linea media sulla lunghezza di valutazione. In pratica, fa la media

delle differenze di altezza tra picchi e valli, ignorandone il segno, per fornire un singolo valore di rugosità.

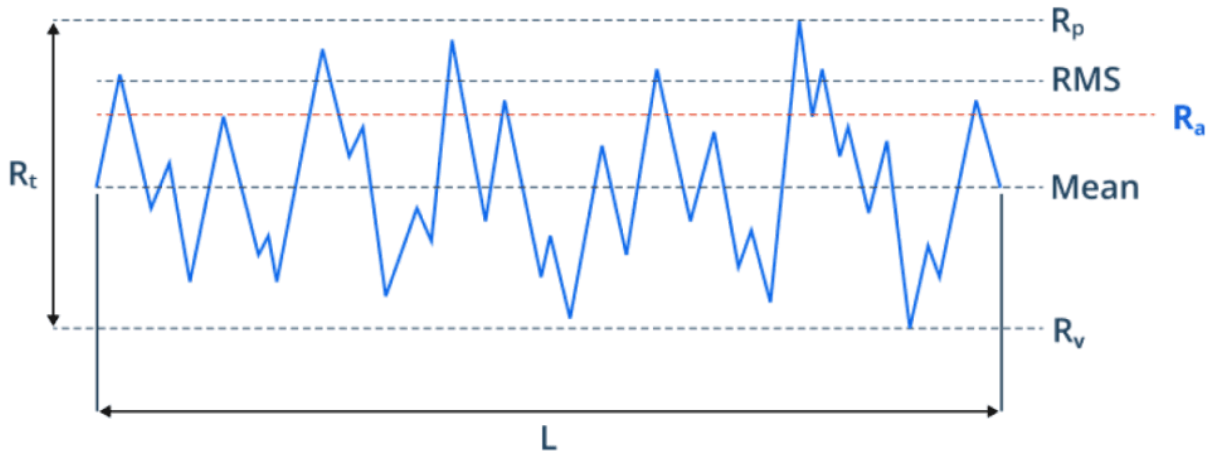


Tabella della rugosità Ra

- *Rp (altezza massima del picco del profilo): l'altezza del picco più alto rispetto alla linea media.*
- *Rv (profondità massima della valle del profilo): la profondità della valle più profonda rispetto alla linea media.*
- *L: lunghezza di valutazione*

Significato: Ra è il parametro più ampiamente utilizzato in quanto fornisce un'indicazione generale della consistenza superficiale complessiva senza essere eccessivamente influenzato da picchi o valli estremi

Applicazioni: adatto per parti ad uso generico in cui è accettabile una levigatezza moderata

Rz (Altezza media massima)

Rz rappresenta la media delle altezze massime picco-valle entro cinque lunghezze di campionamento uguali:

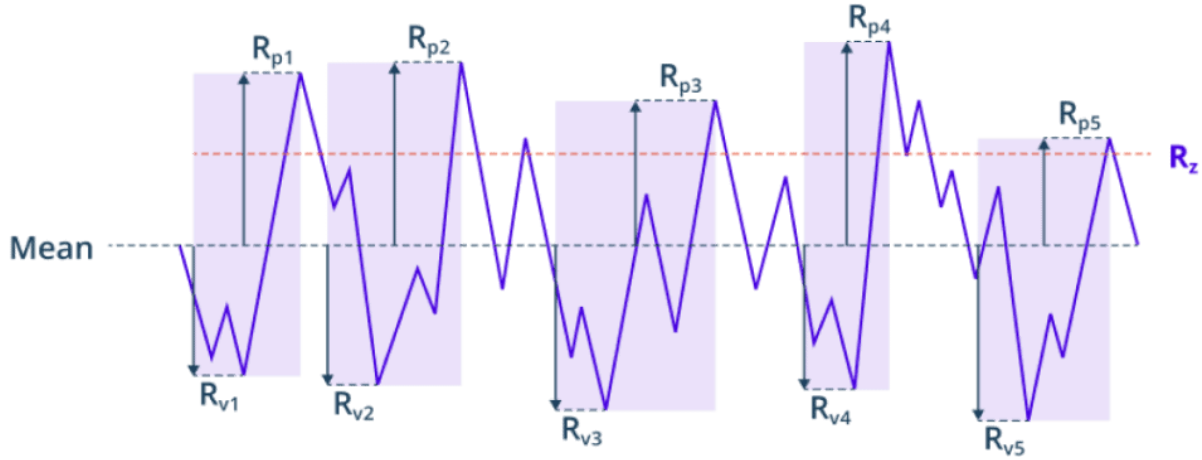


Tabella della rugosità Rz

- *Dal picco più alto alla valle più bassa*
- *Dalla seconda cima più alta alla seconda valle più bassa*
- *ecc. fino alla distanza più grande della quinta*

Significato: Offre una rappresentazione più dettagliata della consistenza superficiale concentrandosi sulle variazioni estreme.

Applicazioni: Fondamentale per sigillare superfici o applicazioni in cui picchi e valli influiscono sulle prestazioni.

Rt (Rugosità totale)

Rt è la distanza verticale totale tra il picco più alto e la valle più bassa all'interno della lunghezza di valutazione.

Significato: Utile per il controllo di qualità generale per garantire che non si verifichino deviazioni estreme

RMS (Root Mean Square)

RMS è la media quadratica delle deviazioni di altezza dalla linea mediana.

Significato: Attribuisce maggiore importanza alle deviazioni più grandi, rendendolo ideale per applicazioni ottiche e di ingegneria di precisione.

Confronto degli indicatori sulle applicazioni

Indicatore	Frequenza d'uso	Focus	Sensibilità ai valori anomali	Esempio d'uso
Ra	**Più comunemente usato in tutto il mondo**	Deviazione media delle altezze superficiali rispetto alla linea media	Bassa	Applicazioni generiche; ampiamente utilizzato per processi di lavorazione meccanica, fusione e rettifica.
Rz	**Secondo più comunemente usato dopo Ra**	Media delle altezze massime dal picco alla valle attraverso le lunghezze di campionamento	Moderata	Interfacce critiche come superfici di tenuta, parti portanti e componenti soggetti a usura.

Indicatore	Frequenza d'uso	Focus	Sensibilità ai valori anomali	Esempio d'uso
RMS	Meno comune ma utilizzato in applicazioni di precisione	Radice quadratica media delle deviazioni di altezza dalla linea media	Da moderata a alta	Ingegneria di precisione, ottica e applicazioni in cui è necessario evidenziare deviazioni maggiori.
Rt	Meno comunemente usato	Dislivello totale tra la cima più alta e la valle più bassa lungo la lunghezza di valutazione	Alta	Rilevamento di difetti superficiali estremi; utile per il controllo qualità in applicazioni critiche.

Siccome Ra ed Rz sono gli indicatori più comunemente utilizzati, le sezioni seguenti di questo articolo esaminano questi sistemi di misurazione.

N – Numeri di grado di rugosità (DIN ISO 1302)

Parlando di **Ra** è importante menzionare lo standard **DIN ISO 1302** e **N** (**Grado di rugosità**). Si tratta di un sistema standardizzato utilizzato per classificare la rugosità superficiale in ingegneria e produzione. Questi gradi, che vanno da N1 (più fine) a N12 (più ruvido), corrispondono a specifici valori massimi di Ra e sono comunemente utilizzati nei disegni tecnici per specificare i requisiti di finitura superficiale.

Connessione tra Ra, Rz e N

- **Ra – N:** Come accennato in precedenza, i valori N1-N12 rappresentano direttamente valori specifici di Ra.
- **Ra – Rz: non direttamente convertibili poiché misurano caratteristiche superficiali diverse.** Tuttavia:
  - L'analisi statistica ci consente di definire un possibile intervallo di valori Rz per ogni Ra.
  - Dato un Ra, esiste un intervallo di potenziali valori Rz e viceversa.
  - Man mano che aumenta la rugosità superficiale, l'intervallo di valori Rz diventa meno preciso.

La tabella sottostante illustra questo concetto:

- Una superficie con **Ra di 3,2 µm** può avere una rugosità **Rz compresa tra 11,5 e 34,7 µm**.

- Una superficie con **Ra di 50 µm** può avere una rugosità **Rz compresa tra 156,2 e 272,6 µm**

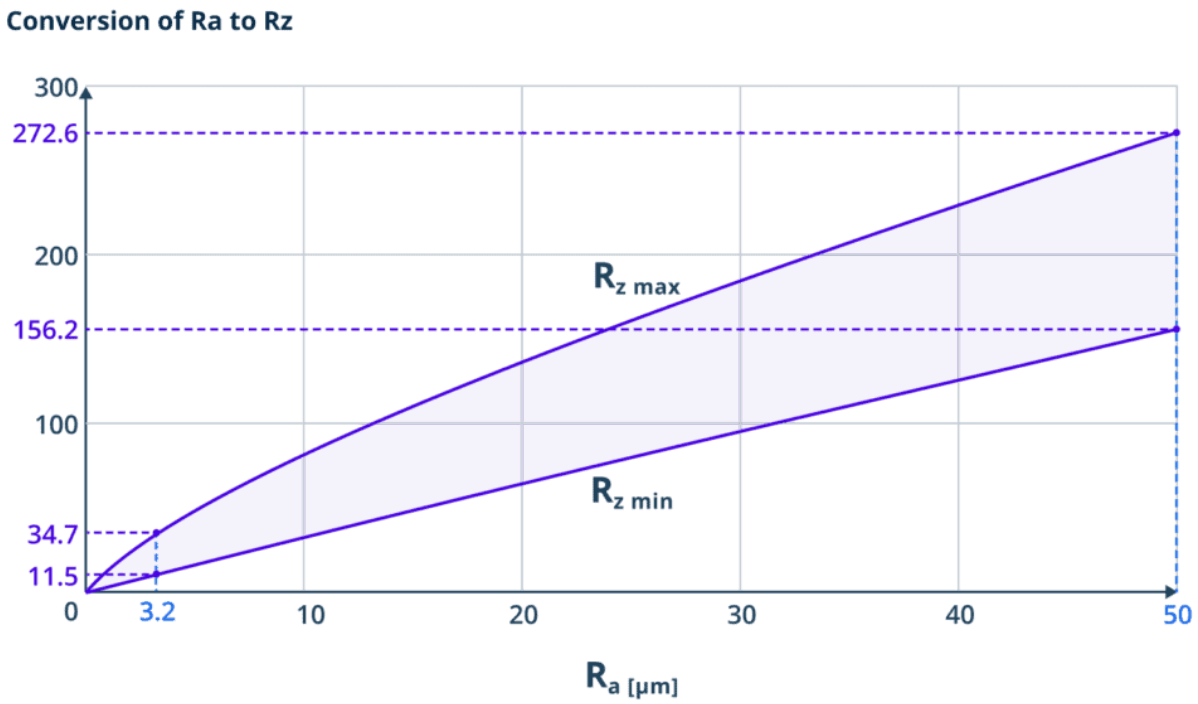


Tabella della rugosità Ra-Rz

Gradi di rugosità superficiale

La tabella seguente delinea i valori N1–N12, i loro corrispondenti valori Ra e l'intervallo statistico dei valori Rz per ogni Ra. Per maggiore praticità, è possibile anche utilizzare il nostro strumento di conversione della rugosità superficiale online.

Grado di rugosità	Ra (µm) Unita metriche	Metrics Rz (µm) Unita metriche	Ra (µin) Unità imperiali	Rz(µin) Unità imperiali
N12	50	156.245-272.644	2000	6249.8-10905.7
N11	25	156.2-272.6	1000	3235.1-6484.6
N10	12.5	80.9-162.1	500	1674.6-3855.8
N9	8.3	21.8-57.7	250	873.4-2306.4
N8	3.2	11.5-34.7	125	458.9-1387.7
N7	1.6	5.9-20.6	63	237.6-825.1

Grado di rugosità	Ra (μm) Unita metriche	Metrics Rz (μm) Unita metriche	Ra (μin) Unità imperiali	Rz(μin) Unità imperiali
N6	0.8	3.1-12.3	32	123.0-490.6
N5	0.4	1.6-7.3	16	63.7-291.7
N4	0.2	0.8-4.3	8	32.9-173.5
N3	0.1	0.4-2.6	4	17.1-103.1
N2	0.05	0.2-1.5	2	8.8-61.3
N1	0.025	0.1-0.9	1	4.6-36.5

Gradi di rugosità ottenibili e non ottenibili con la lavorazione CNC

La tabella seguente fornisce una panoramica dei metodi di produzione utilizzati per ottenere ciascun grado di rugosità, evidenziando **in blu** le superfici più comuni ottenibili tramite lavorazione CNC.

Grado di rugosità		Solitamente ottenuto con				Può essere ottenuto anche con			
N	Ra	Lavorazione meccanica	Finitura	Fusione	Altro	Lavorazione meccanica	Finitura	Fusione	Altro
N12	50	–	–	–	–	–	–	Fusione in sabbia	–
N11	25	–	–	Fusione in sabbia	–	Fresatura, Tornitura	–	Fusione in sabbia, Microfusione	Forgiatura
N10	12,5	–	–	Fusione in sabbia	Forgiatura	Foratura, Fresatura, Tornitura	–	–	DMLS (micropallinato), Estrusione, EDM
N9	8,3	Foratura, Fresatura, Tornitura	–	–	DMLS (micropallinato) Forgiatura, Taglio laser	Brocciatura, Alesatura	Rettifica	Fusione in sabbia, Microfusione	Estrusione, EDM
N8	**3,2**	**Foratura, Fresatura, Tornitura, Brocciatura, Alesatura**	–	Microfusione	Forgiatura, Estrusione, Taglio laser, EDM	–	Rettifica	Pressofusione	–
N7	**1,6**	**Foratura, Fresatura, Tornitura, Brocciatura, Alesatura**	Rettifica	Microfusione, Pressofusione	Estrusione, Taglio laser, EDM	–	Levigatura, Elettrolucidatura	–	Forgiatura
N6	**0,8**	**Fresatura, Tornitura, Brocciatura, Alesatura**	Rettifica, Levigatura, Elettrolucidatura	Pressofusione	Estrusione, Taglio laser	Foratura	Lucidatura, Lappatura, Superfinitura	Microfusione	EDM
N5	**0,4**	**Tornitura**	Rettifica, Levigatura, Elettrolucidatura, Lucidatura, Lappatura	–	–	Fresatura, Brocciatura, Alesatura	Superfinitura	Microfusione, Pressofusione	Estrusione, Taglio laser
N4	0,2	–	Rettifica, Levigatura, Elettrolucidatura, Lucidatura, Lappatura, Superfinitura	–	–	Fresatura, Tornitura	–	–	Taglio laser
N3	0,1	–	Rettifica, Levigatura, Elettrolucidatura, Lucidatura, Lappatura, Superfinitura	–	–	Tornitura	–	–	–
N2	0,05	–	Lappatura, Superfinitura	–	–	Tornitura	Rettifica, Levigatura, Elettrolucidatura, Lucidatura	–	–
N1	0,025	–	Superfinitura	–	–	Tornitura	Rettifica, Levigatura, Elettrolucidatura, Lucidatura, Lappatura	–	–

Xometry

Come scegliere la rugosità superficiale più adatta per la lavorazione CNC

Selezionare la rugosità superficiale della lavorazione CNC più appropriata è fondamentale per garantire prestazioni ottimali, efficienza dei costi e idoneità per l'applicazione prevista. Diversi fattori devono essere valutati attentamente per fare la scelta migliore, che vanno dalla funzionalità del componente alle proprietà del materiale e alla complessità del design. Di seguito sono riportate le considerazioni chiave per guidare il processo decisionale:

- **Funzionalità e scopo**
  - Considerare la funzione specifica delle parti lavorate al CNC, poiché la rugosità superficiale influisce direttamente sulle prestazioni.
  - Per componenti come steli di cilindri pneumatici e parti ottiche, le superfici lisce sono fondamentali (ad esempio Ra di 0,4 µm).
  - Fare riferimento alla tabella di confronto per i valori Ra consigliati personalizzati sulle varie applicazioni.

- **Costo e tempo di consegna**
  - Superfici più lisce richiedono tempi di lavorazione più lunghi e aumentano i costi di produzione.
  - Per i componenti non critici, una rugosità superficiale Ra di 3,2 µm può far risparmiare tempo e ridurre le spese.
- **Estetica**
  - I prodotti rivolti al consumatore traggono vantaggio da finiture lisce e lucide che trasmettono una qualità superiore.
  - Le parti nascoste, come i componenti del sistema di sospensione, potrebbero non richiedere finiture estetiche, riducendo le esigenze di produzione.
- **Proprietà del materiale**
  - La rugosità superficiale ottenibile dipende dal materiale.
  - L'alluminio può raggiungere valori Ra compresi tra 0,1 µm e 1 µm, mentre materiali come l'acciaio possono avere limiti più elevati.
- **Geometria della parte**
  - I progetti complessi con geometrie intricate richiedono più tempo e attrezzature avanzate per ottenere valori Ra più bassi.
  - Per budget e scadenze ristrette, prendere in considerazione finiture superficiali più ruvide per bilanciare costi e fattibilità.