

CHIMICA DELLE SUPERFICI ED INTERFASI

DOTT. GIULIA FIORAVANTI

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELL'AQUILA
LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CHIMICA
LAUREA MAGISTRALE IN SCIENZE CHIMICHE

TRIBOLOGIA

ATTRITO, USURA, RUGOSITÀ

TRIBOLOGIA

ATTRITO ED USURA COME LA **LUBRIFICAZIONE** ENTRANO SOTTO IL TERMINE GENERALE DI TRIBOLOGIA E SONO TUTTI **FENOMENI SUPERFICIALI**.

LA **TRIBOLOGIA VIENE DEFINITA COME LA SCIENZA E LA TECNOLOGIA DELLE SUPERFICI IN CONTATTO** (O IN MOVIMENTO RELATIVO TRA DI LORO).

- ATTRITO
- USURA
- LUBRIFICAZIONE

IL COMPORTAMENTO TRIBOLOGICO DEI MATERIALI METALLICI PUÒ ESSERE SENSIBILMENTE MIGLIORATO, IN TERMINI DI RESISTENZA AD USURA, MEDIANTE TRATTAMENTI SUPERFICIALI O RIVESTIMENTI DURI.

CONTATTO TRA DUE SUPERFICI

DAL PUNTO DI VISTA FISICO-CHIMICO IL **CONTATTO FRA LE SUPERFICI** DEI MEMBRI ACCOPPIATI PUÒ ESSERE:

- **DIRETTO** : SE AVVIENE DIRETTAMENTE FRA I MATERIALI
- **INDIRETTO** : SE FRA I MATERIALI SONO INTERPOSTE SOSTANZE DI QUALSIASI NATURA.

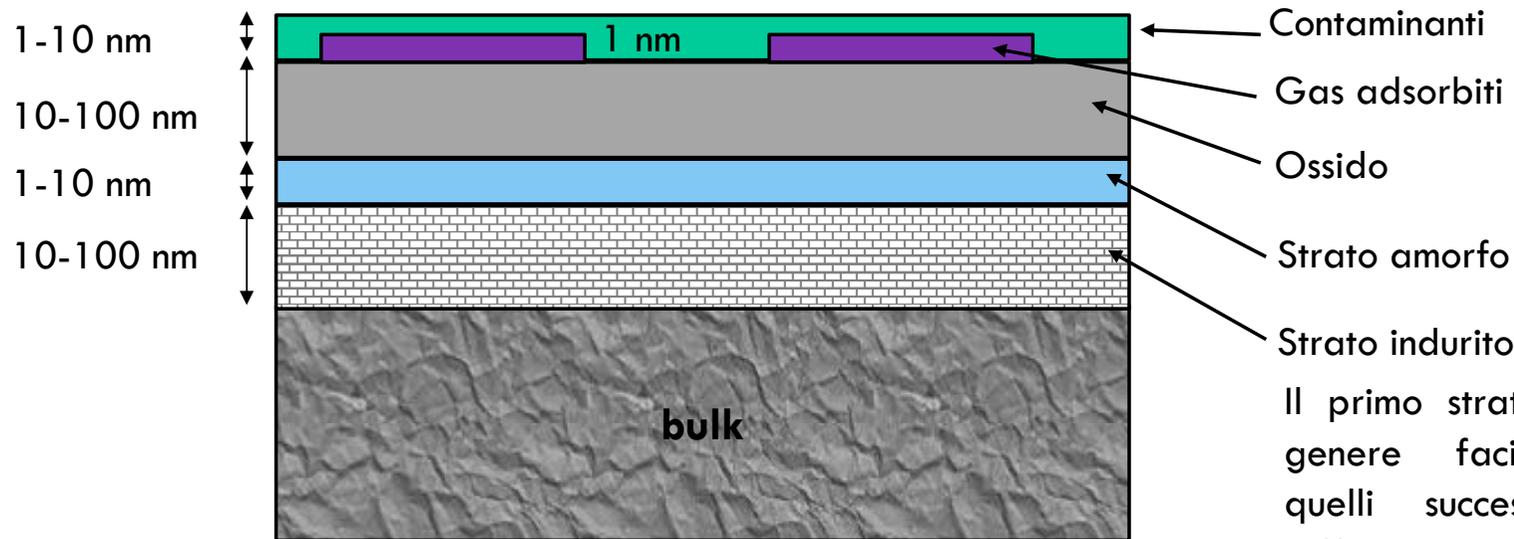
IN REALTÀ, SOPRATTUTTO SE I MEMBRI SONO METALLICI, IL CONTATTO DIRETTO SU TUTTA LA SUPERFICIE DELL'ACCOPPIAMENTO SI REALIZZA SOLO IN LABORATORIO, PERCHÉ LA STRUTTURA SUPERFICIALE DELLE SUPERFICI METALLICHE È COMPOSTA DA DIVERSI STRATI.

NELLA REALTÀ INDUSTRIALE, OGNI CONTATTO FRA SOLIDI, ANCHE IN ASSENZA DI UNA SOSTANZA LUBRIFICANTE INTERPOSTA FRA I MEMBRI, È UN CONTATTO DI TIPO INDIRETTO.

STRUTTURA SUPERFICIE METALLICA

LA SUPERFICIE TIPICA DI UN PEZZO METALLICO È COMPOSTA DA DIVERSI STRATI.

GLI STRATI, LA LORO STRUTTURA E COMPOSIZIONE DIPENDONO DALLA STORIA DEL MATERIALE, DALLA COMPOSIZIONE, DAL PROCESSO DI LAVORAZIONE, DAI TRATTAMENTI, DEFORMAZIONI PLASTICHE ETC.



Il primo strato di superficie è in genere facilmente asportabile, quelli successivi lo sono più difficilmente.

STRUTTURA SUPERFICIE METALLICA

- LO **STRATO INDURITO** È IL RISULTATO DEI PROCESSI DI DEFORMAZIONE PLASTICHE E LAVORAZIONI, NONCHÉ DI TRATTAMENTI TERMICI E DELLA VITA/STORIA SUCCESSIVA DEL PEZZO.
- LO **STRATO AMORFO** SI PUÒ FORMARE IN SEGUITO A LAVORAZIONI (SPESSO DI FINITURA) CON FUSIONI O RISCALDAMENTI DRASTICI SUPERFICIALI, SEGUITI DA RAFFREDDAMENTO VELOCE.
- SE IL METALLO NON VIENE TENUTO IN AMBIENTE INERTE (PRIVO DI OSSIGENO) E NON È UN METALLO NOBILE, SI FORMA UN **OSSIDO**.
- SULLO STRATO DI OSSIDO IN CONDIZIONI NORMALI SI FORMA UNO **STRATO DI GAS ADSORBITO**.
- LO STRATO PIÙ ESTERNO INVECE È COSTITUITO DA **CONTAMINANTI** COME POLVERE, GRASSO, SPORCO, RESIDUI DEI LUBRIFICANTI O DI COMPOSTI USATI NELLA PULIZIA, OPPURE DA INQUINANTI PROVENIENTI DALL'AMBIENTE.

ATTRITO

SI DEFINISCE ATTRITO (FRICTION) OGNI **FENOMENO DISSIPATIVO PROVOCATO NEI CORPI SOLIDI O FLUIDI DALLA PRESENZA DI MOVIMENTO**. L'ETIMOLOGIA DELLA PAROLA ATTRITO DERIVA DAL LATINO ATTENERE, CHE VUOL DIRE SFREGARE ED È UN TERMINE CONNESSO AL MOVIMENTO.

IL COMPORTAMENTO DEI SOLIDI NEI CONFRONTI DELL'ATTRITO E DELL'USURA È CONDIZIONATO DALLA **MICROSTRUTTURA DELLO STRATO SUPERFICIALE** PIÙ CHE DALLA STRUTTURA SOTTOSTANTE.

NON SEMPRE L'ATTRITO È NEGATIVO. SENZA ATTRITO NON POTREMMO AVERE IL MOVIMENTO TRAMITE RUOTE DI UN'AUTOMOBILE. L'ATTRITO PERMETTE ALLE RUOTE DI UN'AUTOMOBILE DI AVERE ADERENZA SULL'ASFALTO: CIÒ LE CONSENTE DI FRENARE, MA ANCHE DI PARTIRE.

ANCHE IL PARACADUTE NON FUNZIONEREBBE SE NON CI FOSSE L'ATTRITO DELL'ARIA.

L'attrito, ad esempio, ci permette di camminare: se non ci fosse, quando un piede viene sollevato per essere portato avanti, l'altro piede scivolerebbe all'indietro e noi cadremmo immediatamente per terra (come sul ghiaccio).



$$f = \text{coefficiente di attrito} = F/N$$

ATTRITO: TEORIE

ESISTONO DIVERSE TEORIE PER DESCRIVERE L'ATTRITO:

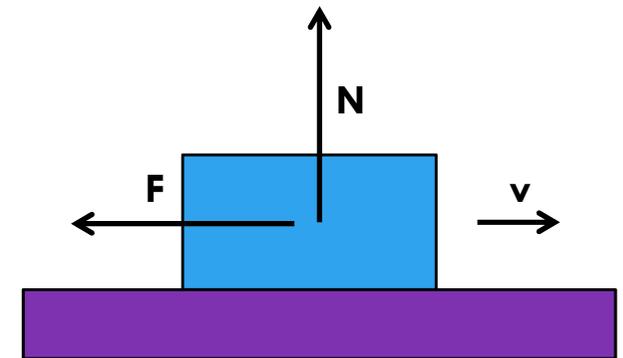
- **TEORIA ADESIVA DELL'ATTRITO**

CONSIDERA CHE LA FORZA TANGENZIALE F NECESSARIA PER MANTENERE UNA **VELOCITÀ DI STRISCIAMENTO** v , TRA DUE CORPI A CONTATTO CON UNA FORZA NORMALE N ORIGINI DALLA FORZA DI TAGLIO NECESSARIA A SEPARARE LE ASPERITÀ A CONTATTO.

- **TEORIA ABRASIVA DELL'ATTRITO**

SI HA **USURA ABRASIVA** QUANDO UNO DEI DUE MATERIALI A CONTATTO HA UNA DUREZZA MOLTO MAGGIORE DELL'ALTRO E QUINDI INCIDE IL MATERIALE PIÙ TENERO PROVOCANDO O **DEFORMAZIONE PLASTICA O ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO**.

IL COEFFICIENTE TOTALE D'ATTRITO È DATO DALLA SOMMA DELL'ATTRITO ADESIVO E ABRASIVO.



COEFFICIENTE DI ATTRITO (RADENTE)

$$f = \text{COEFFICIENTE DI ATTRITO} = F/N$$

IL VALORE DEL COEFFICIENTE DI ATTRITO, PER SUPERFICI METALLICHE, DIPENDE DALLA PRESENZA DEI DIVERSI STRATI:

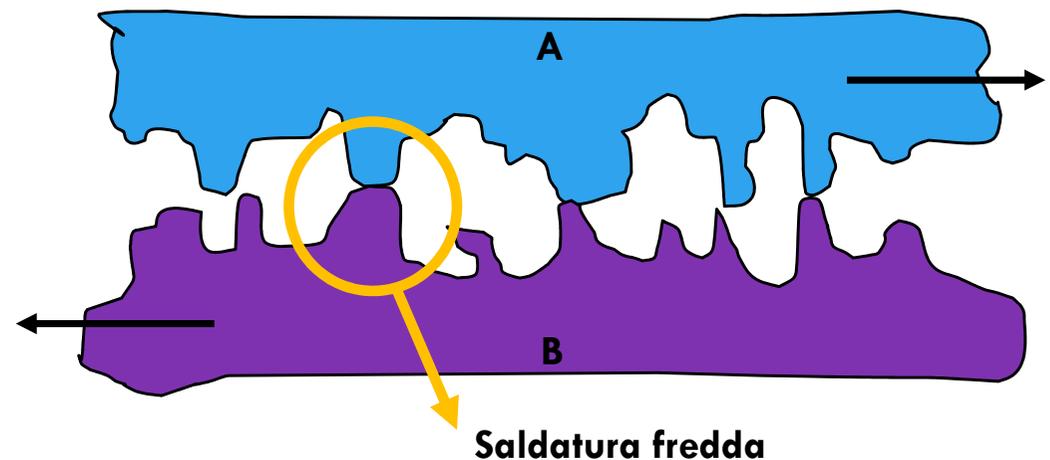
- SUPERFICI RICOPERTE DAI TRE STRATI (OSSIDO, VAPOR D'ACQUA E CONTAMINANTI): f È DELL'ORDINE DI **0.1-0.3**.
- SUPERFICI RICOPERTE DA DUE STRATI (HO TOLTO I GRASSI CONTAMINANTI CON ABRASIVI): f È DELL'ORDINE DI **0.3-0.6** (METALLI DIVERSI).
- SUPERFICI RICOPERTE DAL SOLO STRATO DI OSSIDO: f È DELL'ORDINE DI **0.8-2.0**.

ATTRITO RADENTE E AREA INTERFACCIALE

L'ATTRITO DI CONTATTO È DOVUTO A **PONTI STRUTTURALI** CHE SI INSTAURANO TRA LE MICROSCOPICHE SPORGENZE DELLE SUPERFICI DEI DUE CORPI CHE INTERFACCIANO, E NON DALL'AREA DELLE SUPERFICI CHE SI INTERFACCIANO.

ANCHE SE LE SUPERFICI DI CONTATTO TRA I DUE CORPI SONO MOLTO BEN LEVIGATE, DATE LE MICROSCOPICHE RUGOSITÀ, LE “ZONE” DI EFFETTIVO CONTATTO SONO IN NUMERO LIMITATO ED OFFRONO INIZIALMENTE UN'AREA S DI CONTATTO MOLTO PICCOLA, SU CUI AGISCE TUTTO IL PESO DEL MATERIALE SUPERIORE, CHE PUÒ PRODURRE LOCALI **DEFORMAZIONI PLASTICHE CHE FAVORISCONO DELLE SALDATURE FREDE** FRA LE ASPERITÀ A CONTATTO.

LE DEFORMAZIONI PLASTICHE PRODOTTE AUMENTANO L'AREA DI CONTATTO, RIDUCENDO IL CARICO, E **STABILIZZANDO I PONTI** IN PRECEDENZA FORMATI.



AUMENTO DI TEMPERATURA PER ATTRITO

QUASI TUTTA L'ENERGIA DISSIPATA DALL'ATTRITO VIENE CONVERTITA IN **CALORE**. UNA PICCOLA PARTE RIMANE IMMAGAZZINATA NEL CORPO COME ENERGIA, E PARTE VIENE CONSUMATA NELLA CREAZIONE DI NUOVE SUPERFICI E DETRITI D'USURA.

IL CALORE FA AUMENTARE LA TEMPERATURA DELLE INTERFACCE. LA DISTRIBUZIONE E VALORE DI QUESTI AUMENTI DI TEMPERATURA DIPENDONO NON SOLO DALLA FORZA DI ATTRITO, MA ANCHE DALLA VELOCITÀ, DALLA RUGOSITÀ E PROPRIETÀ FISICHE DEL MATERIALE.

L'INCREMENTO DI TEMPERATURA PUÒ ESSERE TALMENTE ELEVATO DA **RAMMOLLIRE I MATERIALI** E PORTARLI A FUSIONE.

RIDUZIONE DELL'ATTRITO

L'ATTRITO PUÒ ESSERE RIDOTTO TRAMITE:

- UTILIZZO DI **MATERIALI A BASSA ADESIONE** (MATERIALI DURI COME CERAMICI, CARBURI ETC.)
- **FILM SUPERFICIALI** E RIVESTIMENTI DURI
- **LUBRIFICANTI** COME OLII O SOLIDI COME LA GRAFITE

L'ATTRITO ABRASIVO SI PUÒ RIDURRE RIDUCENDO LA RUGOSITÀ SUPERFICIALE DEL MATERIALE PIÙ DURO (ATTENZIONE CHE SUPERFICI PIÙ LISCE AUMENTANO L'ATTRITO ADESIVO).

L'ATTRITO PUÒ ESSERE DIMINUITO APPLICANDO ULTRASUONI E VIBRAZIONI INTORNO AI 20 kHz CHE FANNO FLUIRE MEGLIO IL LUBRIFICANTE IN MEZZO ALLE SUPERFICI A CONTATTO.

LA SCELTA DELLE GOMME IN FORMULA 1



È COSÌ IMPORTANTE LA SCELTA DELLE GOMME PER VINCERE UN GRAN PREMIO DI FORMULA 1?

CERTAMENTE UNO DEI TANTI PROBLEMI CHE GLI INGEGNERI DELLE VARIE SCUDERIE DEVONO AFFRONTARE E RISOLVERE È QUELLO DI **RIDURRE IL PIÙ POSSIBILE L'ATTRITO TRA L'ASFALTO E I PNEUMATICI**, TENENDO PERÒ PRESENTE IL FATTORE TEMPO METEOROLOGICO CHE PUÒ ESSERE DETERMINANTE DURANTE UNA GARA.

SONO DISPONIBILI VARI TIPI DI GOMME CARATTERIZZATE DA DIFFERENTI SAGOMATURE DEL BATTISTRADA E DALLA EVENTUALE PRESENZA DI SCOLPITURE.

LA MASSIMA ADERENZA AL SUOLO E QUINDI LA MAGGIORE STABILITÀ DELL'AUTOVETTURA, SI HA SE LE GOMME SONO **LISCE**, PERCHÉ IL CONTATTO GOMMA-ASFALTO RISULTA PIÙ INTIMO. PERCHÉ ALLORA NON ADOTTARLE SEMPRE?

IL PROBLEMA È L'**AQUAPLANING**, OSSIA LO SLITTAMENTO SUL BAGNATO, CHE AVVIENE QUANDO, A CAUSA DELL'ACQUA SULLA PISTA, IL COEFFICIENTE DI ATTRITO AL SUOLO SI RIDUCE DRASTICAMENTE. È INDISPENSABILE FORNIRE LO PNEUMATICO DI **SCOLPITURE** CHE CONSENTANO LO SCORRIMENTO DELL'ACQUA VERSO LA PERIFERIA DELLA GOMMA.

LE SCOLPITURE PERÒ PEGGIORANO L'ADERENZA SULL'ASCIUTTO: QUESTA È LA RAGIONE PER CUI, QUANDO IN GARA CESSA DI PIOVERE E L'ASFALTO SI ASCIUGA, I PILOTI SONO COSTRETTI A RALLENTARE. O A CAMBIARE PNEUMATICI.

L'USURA

L'**ATTRITO** È UNA **FORZA RESISTENTE, PASSIVA**, CHE SI OPPONE AL MOVIMENTO. È DOVUTA AL FATTO CHE LE SUPERFICI DEI CORPI A CONTATTO CHE SI MUOVONO L'UNA SULL'ALTRA PRESENTANO DELLE RUGOSITÀ, SPESSO INVISIBILI, CHE NE OSTACOLANO IL MOTO DI SCORRIMENTO.

IL CONTATTO TRA DUE CORPI È LOCALIZZATO IN ZONE RISTRETTE, DOVE SONO PRESENTI LE ASPERITÀ.

L'**USURA** È IL PROCESSO CHE PORTA ALLA **RIMOZIONE NON VOLUTA E PROGRESSIVA DI MATERIALE DALLA SUPERFICIE**. HA ANCHE DEGLI ASPETTI POSITIVI COME LA RIDUZIONE DELLA RUGOSITÀ TRAMITE LA RIMOZIONE DELLE ASPERITÀ.

L'USURA VIENE CLASSIFICATA IN DIVERSI TIPI.

USURA ADESIVA

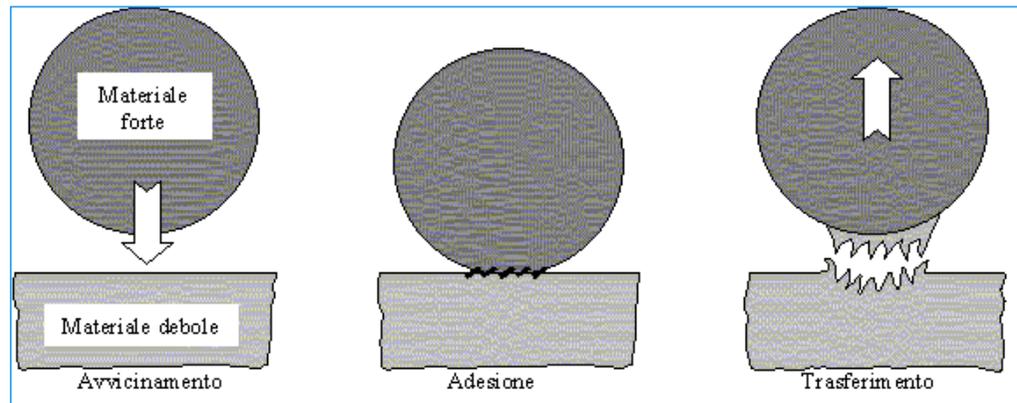
L'**USURA ADESIVA** CONSISTE NELLA ROTTURA PER TAGLIO DELLE ASPERITÀ MICROSCOPICHE DI DUE SUPERFICI METALLICHE.

NEL CASO IN CUI LE DUE SUPERFICI SIANO PULITE E LIBERE DA CONTAMINANTI SI HA USURA SEVERA.

LA PRESENZA DI **OSSIDI O CONTAMINANTI** SULLA SUPERFICIE RIDUCONO LE FORZE D'ADESIONE E L'USURA AGENDO COME FILM PROTETTIVI E PORTANDO AD USURA LIEVE.

PUÒ ESSERE RIDOTTA PER MEZZO DI UN LUBRIFICANTE CHE IMPEDISCA ALLE SUPERFICI DI SALDARSI, OPPURE CON L'ACCOPIAMENTO DI METALLI CHE ABBIANO UNA BASSA SOLUBILITÀ ALLO STATO SOLIDO.

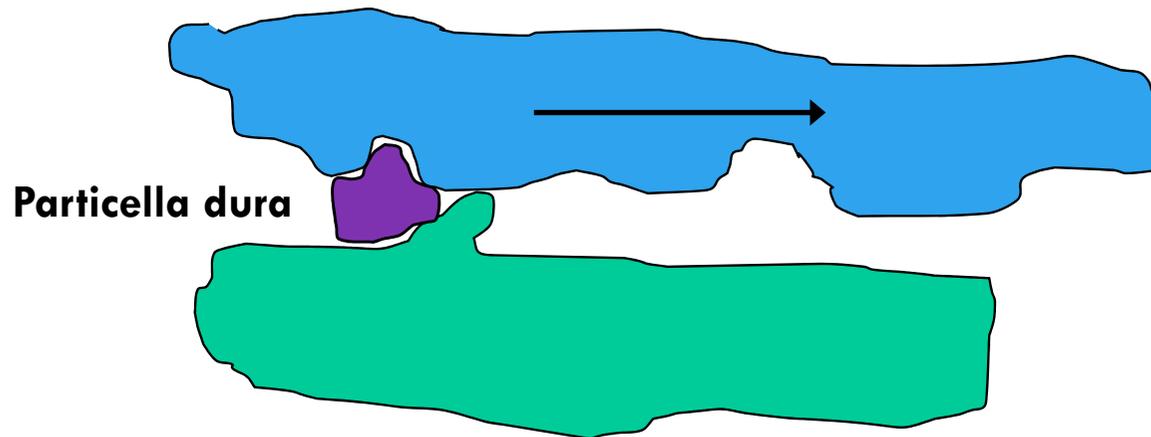
La forte adesione osservata tra metalli si può spiegare con il trasferimento di elettroni tra le superfici in contatto



USURA ABRASIVA

L'USURA ABRASIVA È CAUSATA DA UNA SUPERFICIE MOLTO DURA, CON DELLE ASPERITÀ, CHE SLITTA CONTRO UN'ALTRA SUPERFICIE. SI HA LA PRESENZA DI PARTICELLE DURE (PROVENIENTI DA UNO DEI DUE CORPI O DALL'ESTERNO) CHE INCIDONO IL MATERIALE.

AUMENTANDO LA DUREZZA DI UN MATERIALE SI RIDUCE LA SUA USURA ABRASIVA, PER QUESTO VENGONO UTILIZZATI I RIVESTIMENTI DURI E TRATTAMENTI SUPERFICIALI.



USURA CORROSIVA

L'**USURA CORROSIVA** È DETTA ANCHE «TRIBOSSIDATIVA» NEL CASO DI OSSIDAZIONE.

HA LUOGO IN PRESENZA DI METALLI CHE SI OSSIDANO O SI CORRODONO.

L'USURA ABRASIVA RIMUOVE L'OSSIDO E/O I PRODOTTI DI CORROSIONE LASCIANDO LIBERA PARTE DELLA SUPERFICIE CHE SI CORRODE/OSSIDA DI NUOVO.

E' MAGGIORE QUANDO SONO PRESENTI COMPONENTI CHE AUMENTANO LA CORROSIONE COME ACQUA (ACQUA DI MARE), ACIDI, OSSIGENO, COMPOSTI CHIMICI E A BASE DI ZOLFO.

PUÒ ESSERE RIDOTTA USANDO MATERIALE MENO SOGGETTI A CORROSIONE, RIDUCENDO GLI INQUINANTI E LA TEMPERATURA AMBIENTALE.

USURA PER FATICA

NEL CASO DI FATICA VENGONO PRODOTTE DELLE **CRICCHE** IN SUPERFICIE CHE PORTANO A ROTTURA DI PICCOLI PEZZI O DETRITI DI USURA DA FATICA.

SI PUÒ AVERE FATICA MECCANICA O FATICA TERMICA.

LE CRICCHE DALLA SUPERFICIE, SI UNISCONO TRA LORO NEL MATERIALE SOTTOSTANTE (CAMBIANDO DIREZIONE RISPETTO ALLA PERPENDICOLARE ALLA SUPERFICIE) E PROVOCANO IL DISTACCO DEL DETRITO.

LUBRIFICAZIONE

PER DIMINUIRE L'USURA DEI PEZZI È IMPORTANTE USARE UN'OPPORTUNA **LUBRIFICAZIONE** IL CUI COMPITO È **TENERE LE DUE SUPERFICI IL PIÙ DISTANTE POSSIBILE**. LUBRIFICANTI PER LAVORAZIONI POSSONO ESSERE SIA FLUIDI (OLII, SAPONI, GRASSI, CERE) CHE SOLIDI (GRAFITE, MoS_2 , METALLI TENERI, Pb, Sn E POLIMERI, VETRI).

REGIMI DI LUBRIFICAZIONE

- **FILM SPESSO**: SPESSORE FILM > 10 VOLTE LA RUGOSITÀ, VISCOSITÀ ALTA
- **FILM SOTTILE**: SPESSORE FILM $\sim 3-10$ VOLTE LA RUGOSITÀ, VISCOSITÀ BASSA

LA RUGOSITÀ PUÒ INTRAPPOLARE IL LUBRIFICANTE AIUTANDO LA LUBRIFICAZIONE (PICCOLI SERBATOI DI RISERVA, SUPPORTANO PARTE DEL CARICO), MA A VOLTE PUÒ ESSERE UNO SVANTAGGIO (RIMOZIONE DOPO LA LAVORAZIONE).

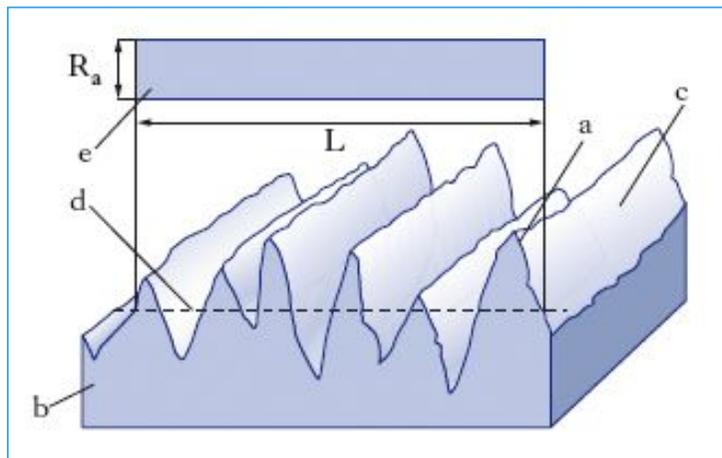
TESSITURA DELLE SUPERFICI

LE CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE RIENTRANO SOTTO IL NOME DI **TESSITURA DELLA SUPERFICIE**. SI CLASSIFICA IN BASE ALLE SEGUENTI QUANTITÀ:

- **CRICCHE E FESSURE**: RIENTRANO IN QUESTE IRREGOLARITÀ COME GRAFFI, CRICCHE, BUCHI, DEPRESSIONI, SCALINI E INCLUSIONI.
- **DIREZIONALITÀ**: LA DIREZIONE PREDOMINANTE DELLA MORFOLOGIA SUPERFICIALE.
- **ONDULAMENTO**: REGOLARE DEVIAZIONE DALLA PLANARITÀ SIMILARMENTE ALLE ONDE NELL'ACQUA, CARATTERIZZATE IN TERMINI DI FREQUENZA (LUNGHEZZA) DELLE ONDE (DISTANZA TRA DUE CRESTE) E ALTEZZA (TRA IL FONDO E LA CIMA). L'ONDULAZIONE PUÒ ESSERE CAUSATA DA VIBRAZIONI, DEFLESSIONI, FLUTTUAZIONI DI FORZE, TEMPERATURE O LUBRIFICAZIONE PERIODICHE.
- **RUGOSITÀ**: DEVIAZIONE IRREGOLARE DALLA PLANARITÀ.

RUGOSITÀ

RUGOSITÀ SUPERFICIALE: È UNA **CARATTERISTICA MECCANICA DETERMINATA DALLE LAVORAZIONI TECNOLOGICHE SUBITE DALLA SUPERFICIE SOLIDA**. ESSA È COSTITUITA DAGLI **ERRORI MICROGEOMETRICI DELLE SUPERFICI REALI RISPETTO ALLA SUPERFICIE IDEALE**.



Un profilo reale è caratterizzato da un andamento più o meno regolare con una successione di creste e di valli di piccola ampiezza.

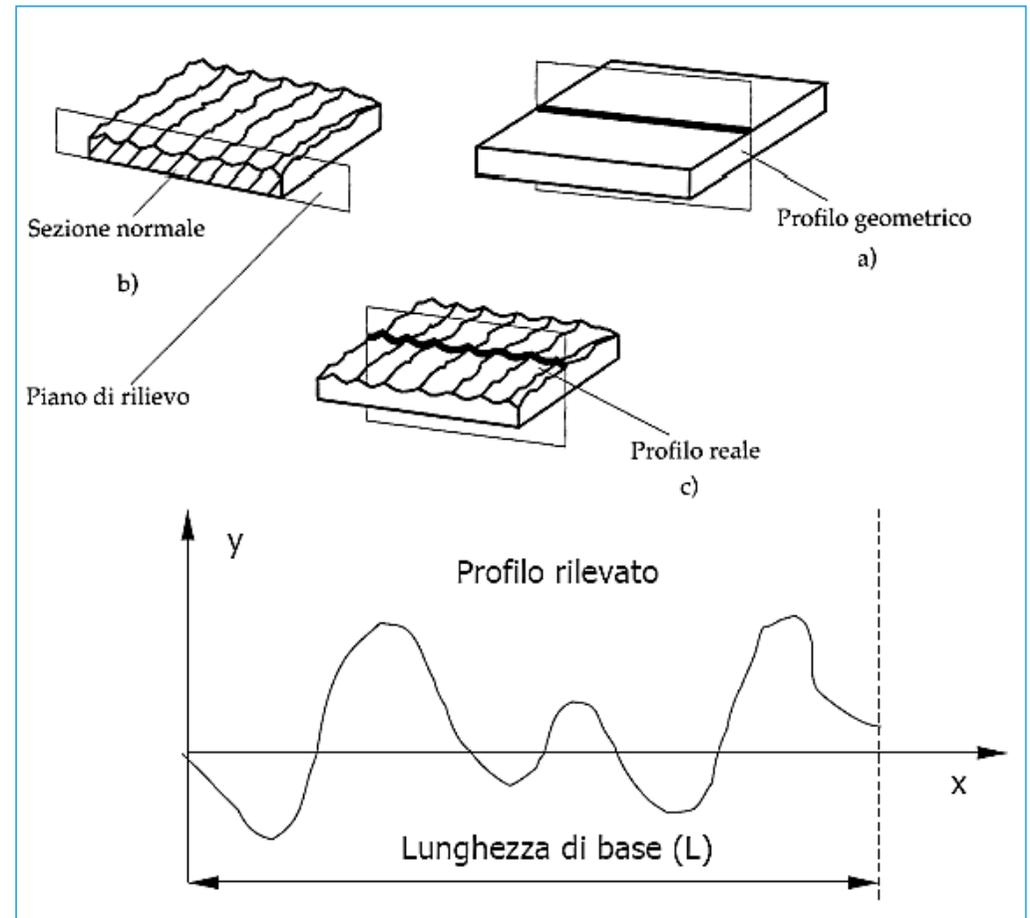
Facendo riferimento a una lunghezza base L , scelta in modo che la valutazione della rugosità non sia influenzata da altri tipi di irregolarità, è possibile definire una **linea media d** che divide idealmente il profilo reale, in modo che la superficie complessiva delimitata dalle creste sia equivalente alla superficie complessiva delimitata dalle valli.

RUGOSITÀ

LA RUGOSITÀ SI DEFINISCE E SI MISURA IMMAGINANDO DI SEZIONARE LA SUPERFICIE CON UN PIANO AD ESSA ORTOGONALE.

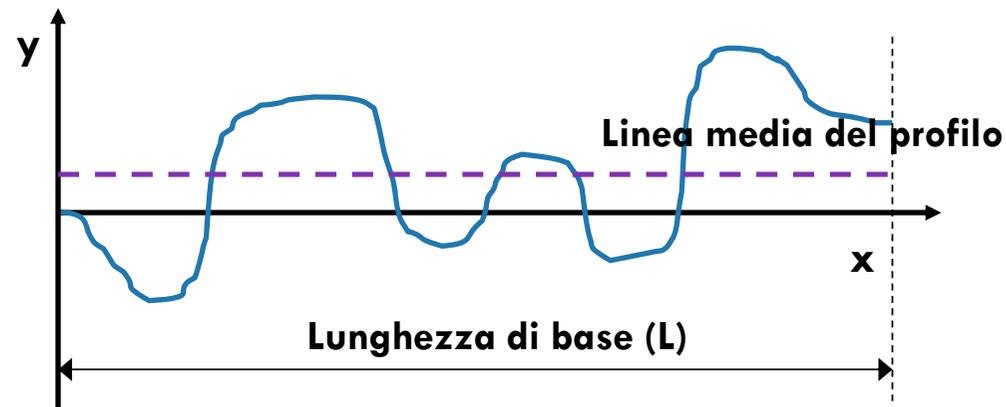
QUESTO PIANO, DETTO "**PIANO DI RILIEVO**", INTERSECANDO LA SUPERFICIE DEFINISCE IL "**PROFILO REALE**" COME INTERSEZIONE NELLO SPAZIO DELLE DUE SUPERFICIE.

- **VALOR MEDIO ARITMETICO**: $R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y| dx$
- **MEDIA QUADRATICA** (rms): $R_a = \left(\frac{1}{L} \int_0^L |y|^2 dx \right)^{1/2}$



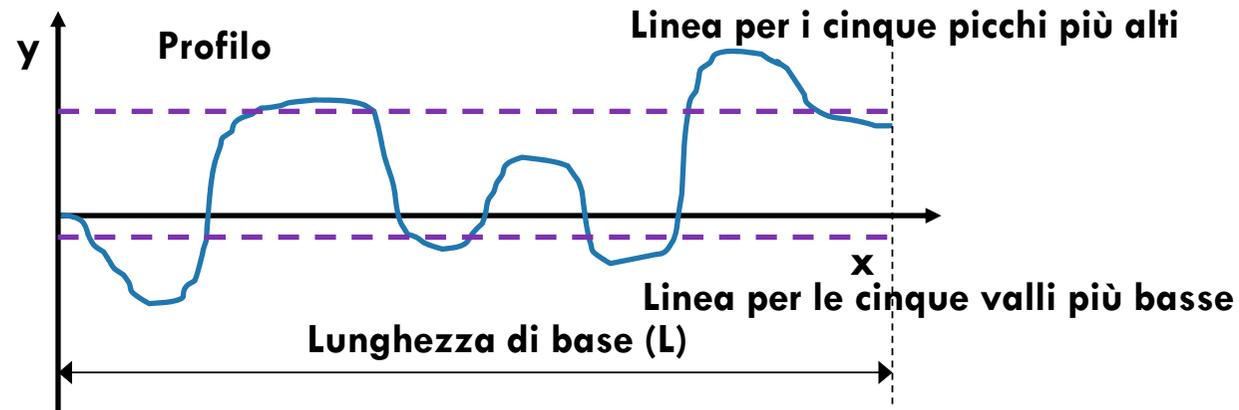
TIPI DI RUGOSITÀ

1. **RUGOSITÀ ATTESA: R_a** , VIENE PRESA COME RIFERIMENTO LA LINEA MEDIA DEL PROFILO, CHE È LA LINEA PER LA QUALE È MINIMA LA SOMMA DELLE DISTANZE AL QUADRATO DEI PUNTI DEL PROFILO DALLA LINEA STESSA. È LA **MEDIA ARITMETICA DELLE DISTANZE DEI PUNTI DEL PROFILO DALLA LINEA MEDIA** DI RIFERIMENTO ESPRESSA IN μm .



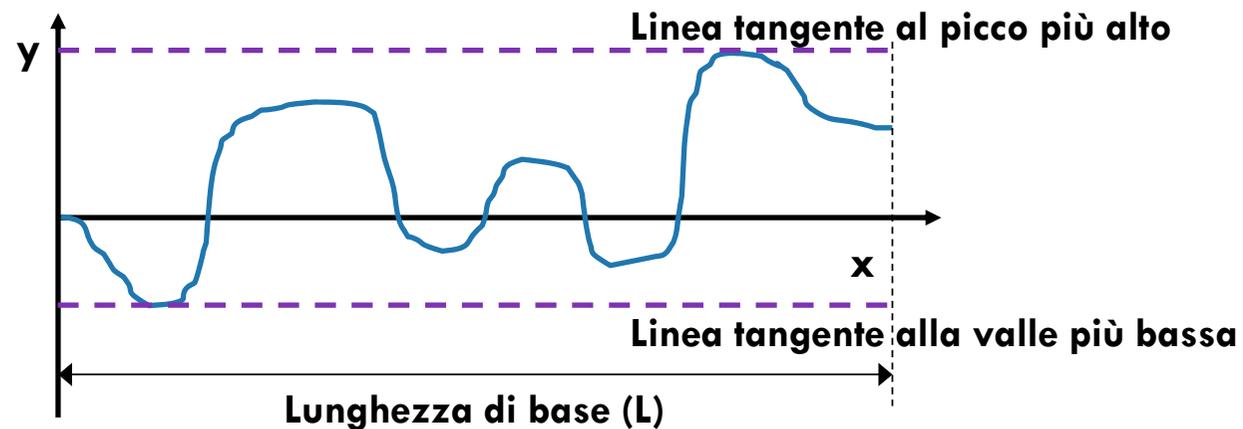
TIPI DI RUGOSITÀ

2. LA **RUGOSITÀ z , R_z** , È LA DISTANZA TRA DUE RETTE PARALLELE ALLA LINEA MEDIA TRACCIATE AD UNA DISTANZA PARI ALLA MEDIA DEI 5 PICCHI PIÙ ALTI E ALLA MEDIA DELLE 5 VALLI PIÙ BASSE NELL'INTERVALLO DELLA LUNGHEZZA DI BASE. È QUINDI LA **MEDIA DELLA RUGOSITÀ MASSIMA SU 5 PICCHI E 5 VALLI**.



TIPI DI RUGOSITÀ

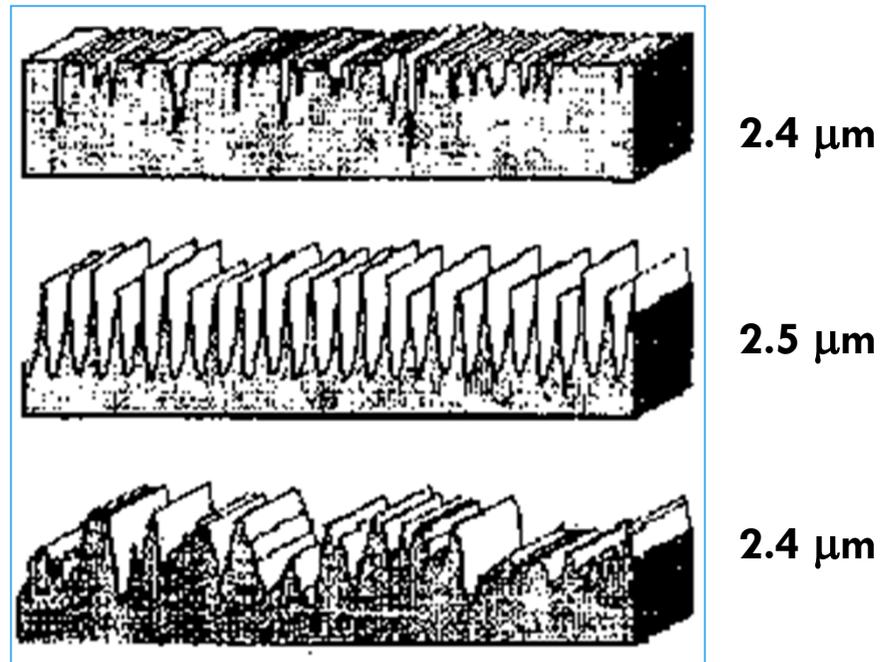
3. **RUGOSITÀ MASSIMA: R_{max}** È LA DISTANZA TRA DUE LINEE PARALLELE ALLA LINEA MEDIA, LA PRIMA TANGENTE AL PICCO PIÙ ALTO E LA SECONDA TANGENTE ALLA VALLE PIÙ BASSA. È QUINDI LA **MASSIMA IRREGOLARITÀ DEL PROFILO**.



RUGOSITÀ E TOPOLOGIA

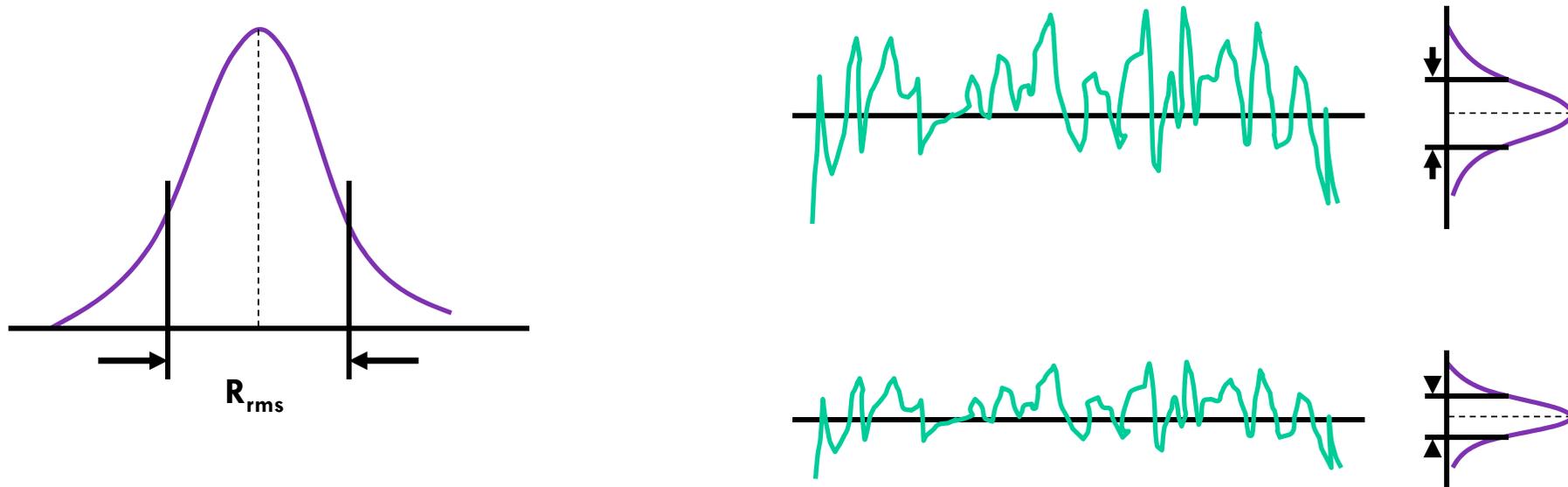
LA RUGOSITÀ DIPENDE ANCHE DALLA SUA **TOPOLOGIA**. DUE SUPERFICI POSSONO AVERE LO STESSO VALORE DI RUGOSITÀ MEDIA, MA CON TOPOLOGIE DIFFERENTI AVERE PROPRIETÀ COMPLETAMENTE DIFFERENTI. IL VALORE DELLA RUGOSITÀ COSÌ DEFINITO È QUINDI UN VALORE MEDIO CHE NON DICE NIENTE RIGUARDO AL TIPO DI IRREGOLARITÀ.

PER ESEMPIO POCHI PICCHI ALTI DAREBBERO LO STESSO RISULTATO DI MOLTI PICCHI BASSI.



RUGOSITÀ MEDIA QUADRATICA

R_{rms} : RADICE QUADRATA MEDIA DELLE DEVIAZIONI DEL PROFILO REALE RISPETTO ALLA LINEA MEDIA, FORNISCE INDICAZIONI SUL CAMPO DI VARIAZIONE DELLE ALTEZZE DEL PROFILO.



SCALA DI RUGOSITÀ

R_a [μm]	R_z [μm]	Classe
0.025	0.16	N1
0.05-0.08	0.032-0.05	N2
0.1-0.12	0.6-0.75	N3
0.16-0.31	1-2	N4
0.31-0.63	2-4	N5
0.63-1.25	4-8	N6
1.25-1.6	8-10	N7

- LAPPATURA (0.5 μm)



- FINITURA ALLE CARTE (0.7 μm)



- FINITURA GROSSOLANA (3.8 μm)



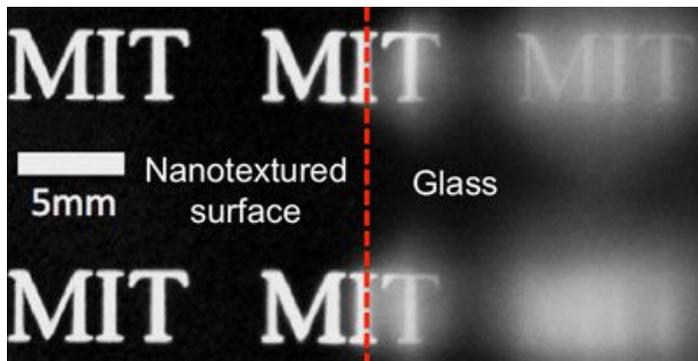
- TORNITURA (5.0 μm)



		RUGOSITÀ							
		Ra μm							
		0.025	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3
TIPO DI LAVORAZIONE	Tornitura								
	Alesatura								
	Brocciatura								
	Rullatura di precisione								
	Rettifica								
	Levigatura								
	Superfinitura								
	Lucidatura								
		1	2	4	8	16	32	63	125
		RUGOSITÀ				C.L.A. μm			

VETRI NANOSTRUTTURATI

<http://physicsworld.com/cws/article/news/2012/may/01/textured-glass-provides-a-clear-view>



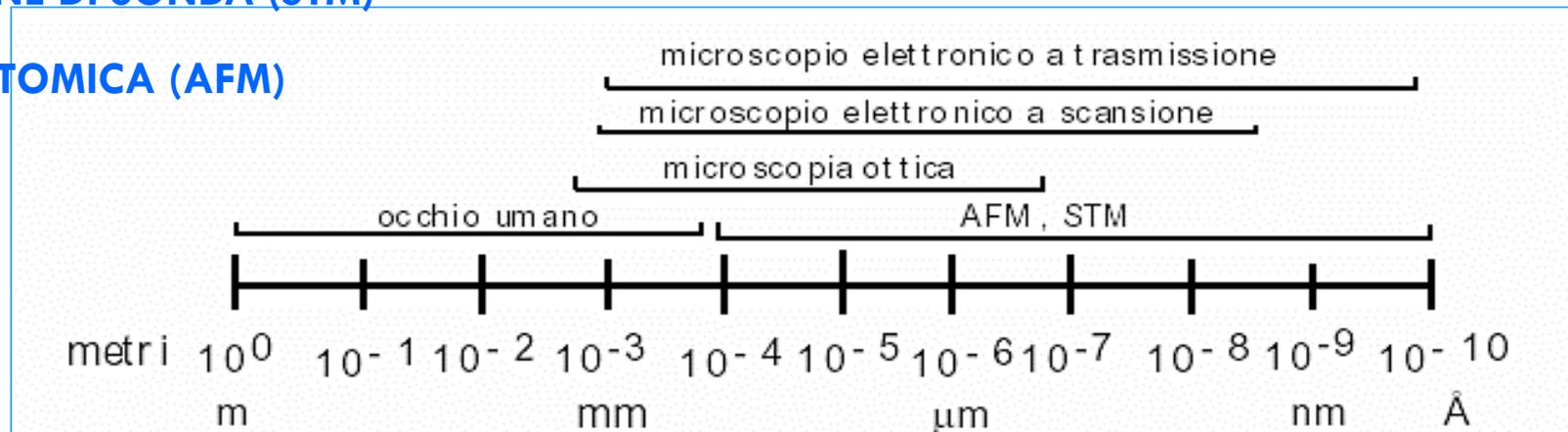
LA RUGOSITÀ È IMPORTANTE PER:

- **SUPERFICI DI CONTATTO** CHE RICHIEDONO PRECISIONE ELEVATA COME GUARNIZIONI, SIGILLI, UTENSILI E STAMPI RICHIEDONO O RUGOSITÀ BASSISSIME (SFERE CUSCINETTI, SUPERFICI INTERNE STAMPI) O RUGOSITÀ ELEVATE (SUPERFICI GUARNIZIONI, FRENI A TAMBURO).
- PER CONSIDERAZIONI SULL'**ATTRITO E USURA**.
- PER **FATICA E SENSIBILITÀ ALL'INTAGLIO** (MEGLIO SUPERFICI LISCE).
- PER **CONDUCIBILITÀ TERMICA ED ELETTRICA PER CONTATTO** (MEGLIO LISCE).
- **RESISTENZA ALLA CORROSIONE** (SUPERFICI RUGOSE TRATTENGONO I COMPOSTI CORROSIVI).
- PROCESSI DI **VERNICIATURA**, RIVESTIMENTI (MEGLIO RUGOSITÀ).

MISURA DELLA RUGOSITÀ

LA RUGOSITÀ SI MISURA TRAMITE:

- **PROFILOMETRI**: UNA PUNTA (DIAMANTATA) SCORRE SULLA SUPERFICIE E SI REGISTRA IL MOVIMENTO.
- INTERFEROMETRI
- **MICROSCOPI ELETTRONICI (TEM, SEM)**
- **MICROSCOPI A SCANSIONE DI SONDA (STM)**
- **MICROSCOPI A FORZA ATOMICA (AFM)**



INGEGNERIA DELLE SUPERFICI

L'INGEGNERIA DELLE SUPERFICI È UNA SCIENZA INGEGNERISTICA CHE PROGETTA I METODI FISICI E CHIMICI IN GRADO DI MODIFICARE SUPERFICIE E STRATI SUBSUPERFICIALI DI UN CORPO AL FINE DI OTTENERE LE CARATTERISTICHE INDIVIDUATE COME OTTIMALI PER UNA DETERMINATA APPLICAZIONE.

PER INDIVIDUARE LE CARATTERISTICHE OTTIMALI DELLA SUPERFICIE DA PROGETTARE, L'INGEGNERIA DELLE SUPERFICI DEVE NECESSARIAMENTE OCCUPARSI ANCHE DELLO **STUDIO DEI MECCANISMI CHE ALTERANO O PORTANO A DEGRADAZIONE LE SUPERFICI** (USURA, CORROSIONE, FATICA MECCANICA E TERMICA ECC.) E QUELLI CHE LE RENDONO MENO EFFICIENTI PER IL RAGGIUNGIMENTO DEL LORO SCOPO PROGETTUALE (ATTRITO, INVECCHIAMENTO DELLE SUPERFICI DECORATIVE E COSÌ VIA).

TRATTAMENTI SUPERFICIALI

AL GIORNO D'OGGI È VASTISSIMO L'UTILIZZO DI **SUPERFICI METALLICHE** CHE VENGONO QUINDI TRATTATE PER NUMEROSI MOTIVI RIASSUMIBILI IN MODIFICAZIONI DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE, CHIMICHE E FISICHE DELLE STESSE.

FANNO AD ESEMPIO PARTE DEI **TRATTAMENTI SUPERFICIALI** PIÙ CONOSCIUTI: LAVAGGIO, SGRASSAGGIO, BRILLANTATURA E PULITURA.

ESISTONO POI ALTRI TRATTAMENTI PIÙ STRETTAMENTE **MECCANICI** (CARTEGGIATURA, SABBIATURA ECC.) O **METALLURGICI** (TEMPRA ECC.) OLTRE A TRATTAMENTI CHE PREVEDONO **DEPOSIZIONE DI SOSTANZE** SENZA ALTERAZIONE CHIMICA DELLA SUPERFICIE (PITTURAZIONE, METALLIZZAZIONE ELETTROLITICA ECC) O CON REAZIONI CHIMICHE TRA REAGENTI E SUPERFICIE (OSSIDAZIONE ANODICA, FOSFATAZIONE, PASSIVAZIONE).

TECNOLOGIE DI MODIFICA SUPERFICIALE

LE TECNOLOGIE DI MODIFICAZIONE SUPERFICIALE INCLUDONO METODI TRADIZIONALI, CONTINUAMENTE AGGIORNATI, E METODI NUOVI CHE GENERANO SUPERFICI CON CARATTERISTICHE PIÙ INNOVATIVE E SPECIALIZZATE:

- PROCESSI TERMOCHIMICI (PER ES., CEMENTAZIONE E NITRURAZIONE);
- PROCESSI MECCANICI (PER ES., PALLINATURA);
- PROCESSI TERMICI (PER ES., TEMPRA A INDUZIONE);
- ELETTRODEPOSIZIONE;
- VERNICIATURA, SMALTATURA;
- TERMOSPRUZZATURA;
- PHYSICAL VAPOUR DEPOSITION (PVD) E CHEMICAL VAPOUR DEPOSITION (CVD);
- PROCESSI CHE IMPIEGANO LA TECNOLOGIA LASER;
- PROCESSI IBRIDI, CHE UTILIZZANO PIÙ TECNOLOGIE CONTEMPORANEAMENTE.

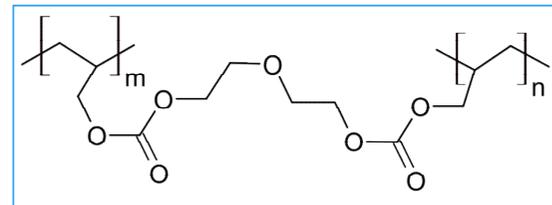
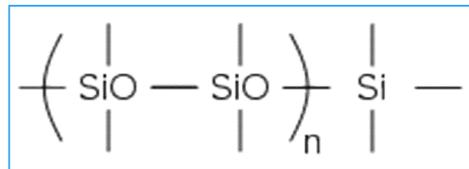
TRATTAMENTI FUNZIONALI

VENGONO EFFETTUATI PER **AUMENTARE LA RESISTENZA A CORROSIONE E/O A USURA E A FATICA.**

POSSONO ANCHE OCCUPARSI DI CONFERIRE ALLA SUPERFICIE UNA **PARTICOLARE FUNZIONE** OTTICA, TERMOFISICA, ELETTRICA, MAGNETICA, ADESIVA O ANTIADESIVA, DI PASSIVAZIONE, DI BIOCAMPATIBILITÀ, DI RIDOTTO COEFFICIENTE DI ATTRITO E COSÌ VIA.

ESEMPIO: **TRATTAMENTI DELLE LENTI DEGLI OCCHIALI.**

- TRATTAMENTO INDURENTE (LACCHE A BASE DI POLISILOSSANO, RESISTENZA ALL'ABRASIONE)
- TRATTAMENTO ANTIRIFLESSO (CR-39, POLIALLIL-DIGLICOL-CARBONATO, MINORE RIFLETTANZA)



TRATTAMENTI SUPERFICIALI, PERCHÉ?

- MIGLIORANO LA RESISTENZA ALL'USURA, EROSIONE E INDENTAZIONI
- CONTROLLANO L'ATTRITO
- RIDUCONO L'ADESIONE
- POSSONO MIGLIORARE LA LUBRIFICAZIONE
- MIGLIORANO LA RESISTENZA ALLA CORROSIONE E OSSIDAZIONE
- MIGLIORANO LA RESISTENZA A FATICA
- RICOSTRUZIONE PEZZI (STAMPI E UTENSILI)
- MIGLIORANO LA RUGOSITÀ
- PER DECORAZIONI E SPECIALI TESSITURE SUPERFICIALI

Componenti meccaniche

Evitare l'aderenza di prodotti alimentari (pasta fresca, prodotti da forno, di vernici, inchiostri, adesivi, gomma, plastica e molto altro ancora).

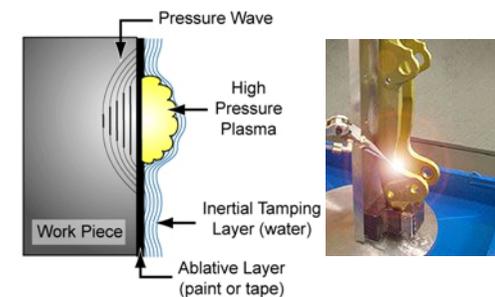
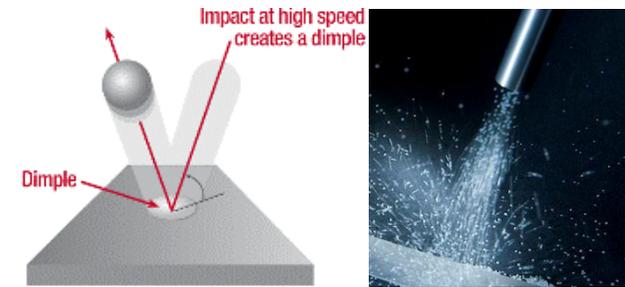
RIVESTIMENTI SUPERFICIALI (COATINGS)

ALL'INTERNO DELLA FAMIGLIA DEI RIVESTIMENTI, I PRINCIPALI TRATTI DISTINTIVI SONO:

- **MATERIALI DEPOSITATI** (METALLICI, CERAMICI, POLIMERICI O COMPOSITI);
- **SPESSORI DI RIVESTIMENTO** (FILM SOTTILI, NELL'ORDINE DELLE DECINE DI MICROMETRI, E FILM SPESSI, FINO A QUALCHE MILLIMETRO);
- **DUREZZA** (RIVESTIMENTI MORBIDI, DURI, SUPERDURI);
- **APPLICAZIONE** (PER RESISTENZA A USURA, RESISTENZA A CORROSIONE, RESISTENZA A FATICA, BARRIERA TERMICA, DECORAZIONE ECC.);
- **STRUTTURA** (A COSTITUENTE SINGOLO, MULTICOMPONENTE, MONOSTRATO, MULTISTRATO, A GRADIENTE).

TRATTAMENTI SUPERFICIALI

- PALLINATURA O SHOT PEENING: SULLA SUPERFICIE VENGONO SPARATE DELLE SFERE DI ACCIAIO, VETRO O CERAMICO; CREANO UNO STRATO SUPERFICIALE IN COMPRESSIONE PER DEFORMAZIONE PLASTICA (INGRANAGGI, ALBERI, MOLLE, PEZZI PER TRIVELLAZIONE....)
- WATER-JET PEENING: GETTO D'ACQUA IN PRESSIONE (FINO A 400 MPa) SULLA SUPERFICIE PER METTERLA IN COMPRESSIONE (ACCIAI E LEGHE D'ALLUMINIO)
- LASER PEENING: SI USA IL RISCALDAMENTO LASER VELOCE LOCALE CON RAFFREDDAMENTO RAPIDO (A IMPULSI) PER METTERE IN COMPRESSIONE LA SUPERFICIE (IN LEGHE PER TURBINE E FAN)
- BRUNITURA: UN UTENSILE CON DUE CILINDRI DURI RUOTA AD ALTA VELOCITÀ SULLA SUPERFICIE (LUCIDATURA).



TRATTAMENTI SUPERFICIALI

- INDURIMENTO: INCREMENTA LA DUREZZA SUPERFICIALE
- CLADDING: TIPICO L'ALCLAD; UNO STRATO DI MATERIALE PIÙ RESISTENTE VIENE “ATTACCATO” PER LAVORAZIONE AL MATERIALE ORIGINALE (TRAMITE LAMINAZIONE, ESPLOSIVI, STAMPAGGIO ETC.)
- PLACCATURA MECCANICA: PARTICELLE DI METALLO VENGONO DEFORMATE CONTRO LA SUPERFICIE TRAMITE IMPATTO DI SFERE DURE O PER MULINAGGIO
- TRATTAMENTI IN CASSETTA (CEMENTAZIONE, NITRURAZIONE ETC.); INDURIMENTI SUPERFICIALI PER DIFFUSIONE
- RIVESTIMENTI DURI: RIVESTIMENTI DI METALLI DURI E CARBURI VENGONO DEPOSITATI SULLA SUPERFICIE CON TECNICHE AD ARCO TRASFERITO

TRATTAMENTI SUPERFICIALI

- THERMAL SPRAYING (PLASMA SPRAYING): UNA FIAMMA A CALDO (FINO AL PLASMA) VIENE USATA PER FONDERE IL MATERIALE RIVESTENTE E SPRUZZARLO SULLA SUPERFICIE DA RIVESTIRE; FUNZIONA ANCHE CON CERAMICI
- **SURFACE TEXTURING**: SI MODIFICA LA SUPERFICIE PER QUESTIONI ESTETICHE O OTTICHE; SI USANO ATTACCHI CHIMICI, ARCHI ELETTRICI, LASER, OSSIGENO ATOMICO (MOLTO REATTIVO).....
- RIVESTIMENTI CERAMICI: SI USA IN GENERE IL PLASMA SPRAY; VENGONO FATTI PER RIVESTIMENTI ANTIUSURA E BARRIERE TERMICHE
- **PVD E CVD**: PHYSICAL VAPOR DEPOSITION E CHEMICAL VAPOR DEPOSITION, SPUTTERING, IMPIANTAZIONI IONICHE; DEPOSIZIONI ATOMO PER ATOMO PER STRATI MOLTO COMPATTI E PERFETTI

TRATTAMENTI SUPERFICIALI

- RIVESTIMENTI PER DIFFUSIONE: GLI ELEMENTI DA DIFFONDERE (A CALDO) VENGONO APPORTATI ALLO STATO SOLIDO, LIQUIDO O GAS; TIPICI LA CEMENTAZIONE, NITRURAZIONE ETC.
- Elettroplaccatura: IL PEZZO (CATODO) VIENE RIVESTITO CON MATERIALE APPORTATO DALL'ANODO ENTRAMBI IMMERSI NELLA SOLUZIONE ELETTROLITA; PER ESEMPIO NELLE CROMATURE; CROMATURE DURE DANNO DUREZZE FINO A 70 HRC; SI POSSONO RIVESTIRE CON METALLI ANCHE POLIMERI COME ABS, POLIPROPILENE, POLISULFONE, POLICARBONATO, POLIESTERE E NYLON
- PLACCATURA CHIMICA: SI USA TIPICAMENTE CON NICKEL E RAME; SI SFRUTTA LA RIDUZIONE DI UN SALE METALLICO
- ELETTROFORMATURA: SI DEPOSITA IL METALLO SU UNO STAMPO E POI SI RIMUOVE, IL RIVESTIMENTO COSTITUISCE IL PEZZO

TRATTAMENTI SUPERFICIALI

- ANODIZZAZIONE: OSSIDAZIONE ANODICA SPINTA PER PRODURRE UNO STRATO DI OSSIDO SPESSO, COMPATTO E RESISTENTE; MOLTO USATO CON L'ALLUMINIO
- RIVESTIMENTI DI CONVERSIONE: FOSFATI, CROMATI E OSSALATI SONO USATI PER RIVESTIMENTI DI CONVERSIONE PER IMMERSIONE E SPRUZZATURA; SONO USATI COME PRIMER O BASI PER SUCCESSIVI FINITURE (VERNICIATURA ETC.); USATI CONTRO LA CORROSIONE O PER AUMENTARE L'ADESIONE DI LUBRIFICANTI ETC.
- COLORAZIONE: SI ALTERA IL COLORE DELLA SUPERFICIE CONVERTENDO LE SUPERFICI IN OSSIDI, CROMATI E FOSFATI
- IMMERSIONE A CALDO: SI IMMERGE IL PEZZO IN UN BAGNO DI METALLO FUSO (ZINCO PER LA ZINCATURA, STAGNO O ALLUMINIO); SI USA CONTRO LA CORROSIONE IN GENERE

TRATTAMENTI SUPERFICIALI

- **SMALTO PORCELLANATO:** SI METTE UNA MISCELA DI OSSIDI SULLA SUPERFICIE CHE A CALDO FONDONO E CREANO LO SMALTO CHE SOLIDIFICANDO DECORA E PROTEGGE LA SUPERFICIE DEL METALLO; VIENE FATTO ANCHE PER I CERAMICI (GLAZING) PER DEECORAZIONE O AUMENTARE LA DUREZZA
- **RIVESTIMENTI ORGANICI:** PER QUESTIONI ESTETICHE O MIGLIORARE LA RESISTENZA ALLA CORROSIONE; VENGONO APPLICATI SOPRA UN PRIMER A SPRUZZO, PENNELLATURA, IMMERSIONE O ELETTROSTATICAMENTE
- **RIVESTIMENTI DIAMANTATI:** PER CVD O PVD; USATI COME RIVESTIMENTI ANTIUSURA
- **RIVESTIMENTI DLC: DIAMOND-LIKE CARBON:** POCHI NANOMETRI DEPOSITATI A TEMPERATURE PIÙ BASSE

PULIZIA DELLE SUPERFICI

UNA SUPERFICIE PULITA AUMENTA L'ATTRITO, PERÒ È FONDAMENTALE PER LA LUBRIFICAZIONE, L'APPLICAZIONE DI RIVESTIMENTI, SALDATURE, BRASATURE, CONTENITORI PER ALIMENTI ETC.

LA PULIZIA RICHIEDE LA RIMOZIONE DI TUTTE LE SOSTANZE LIQUIDE, SOLIDE O SEMILIQUEDE CHE CONTAMINANO LA SUPERFICIE

IL TIPO DI PULIZIA DIPENDE DAL TIPO DI CONTAMINANTE:

- **METODI MECCANICI:** SPAZZOLATURA, ABRASIONE TRAMITE PARTICELLE A SECCO O IN LIQUIDI, GETTI DI VAPORE, PULITURA AD ULTRASUONI.
- **METODI CHIMICI:** PER DISSOLUZIONE, SAPONIFICAZIONE, EMULSIONAMENTO, DISPERSIONE, AGGREGAZIONE.