

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)



Da un punto di vista tecnologico, la progettazione di una MU è un'attività fortemente interdisciplinare, che richiede conoscenze in diversi settori, quali ad esempio:

- Scienza e tecnologia dei materiali.
- Scienza delle costruzioni.
- Tecnologia meccanica.
- Disegno tecnico.
- Meccanica delle vibrazioni.
- Dispositivi ed azionamenti elettrici.
- Informatica.
- Elettronica.
- Reti di telecomunicazioni.
- Ecc.

Si tratta, pertanto, di un'attività complessa, per lo svolgimento della quale è necessaria la collaborazione di diverse figure professionali operanti in stretta collaborazione.

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)



In generale, una MU è una macchina operatrice (ovvero un generico apparato in grado di svolgere in modo automatico, oppure con l'assistenza di un essere umano, operazioni meccaniche e no), composta da una serie di sistemi interagenti, quali ad esempio:

- Struttura.
- Guide.
- Azionamenti.
- Mandrini o altre unità operative.
- ATC.
- Dispositivi e sistemi ausiliari (ad es.: sistema elettrico, sistema pneumatico, sistema oleodinamico, sistema di evacuazione del truciolo, dispositivi di sicurezza, ecc.).

Le tipologie di macchine utensili utilizzate nell'ambito della fabbricazione meccanica sono molto numerose. Nel seguito, per maggiore concretezza, si farà riferimento ad una specifica tipologia di macchine utensili, ovvero i **centri di lavoro**.

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

Il **centro di lavoro** è una macchina utensile ad asportazione di truciolo dotata di controllo numerico in grado di eseguire più operazioni meccaniche con un solo set-up su più superfici dello stesso pezzo in lavorazione. E' in generale dotato di più assi di moto e di un sistema di cambio utensile automatico (ATC).



# Criteri per la progettazione di una MU

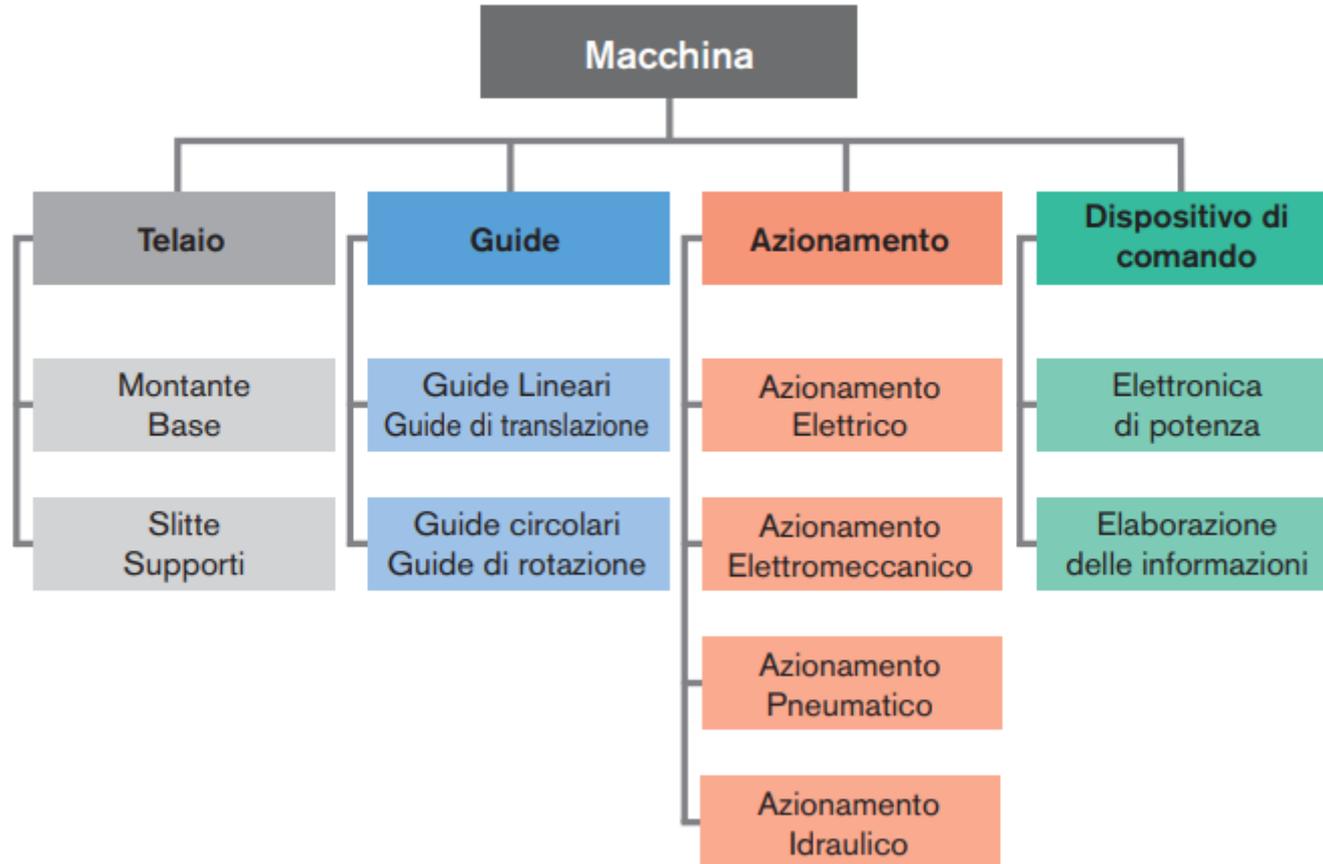
Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

Nel caso specifico dei CDL, i principali componenti e sistemi sono i seguenti:

- **Struttura.**
- **Guide ed assi rotativi.**
- **Azionamenti.**
- **Mandrino.**
- **ATC.**
- **Controllo (CNC).**
- **Sistemi ausiliari:**
  - quadro elettrico
  - quadro pneumatico
  - quadro oleodinamico
  - sistema lubrorefrigerante
  - sistema di lubrificazione.
  - sistema di raffreddamento.
  - sistema di evacuazione del truciolo
  - staffaggi e sistemi di alimentazione dei grezzi
  - sistema di protezione e sicurezza

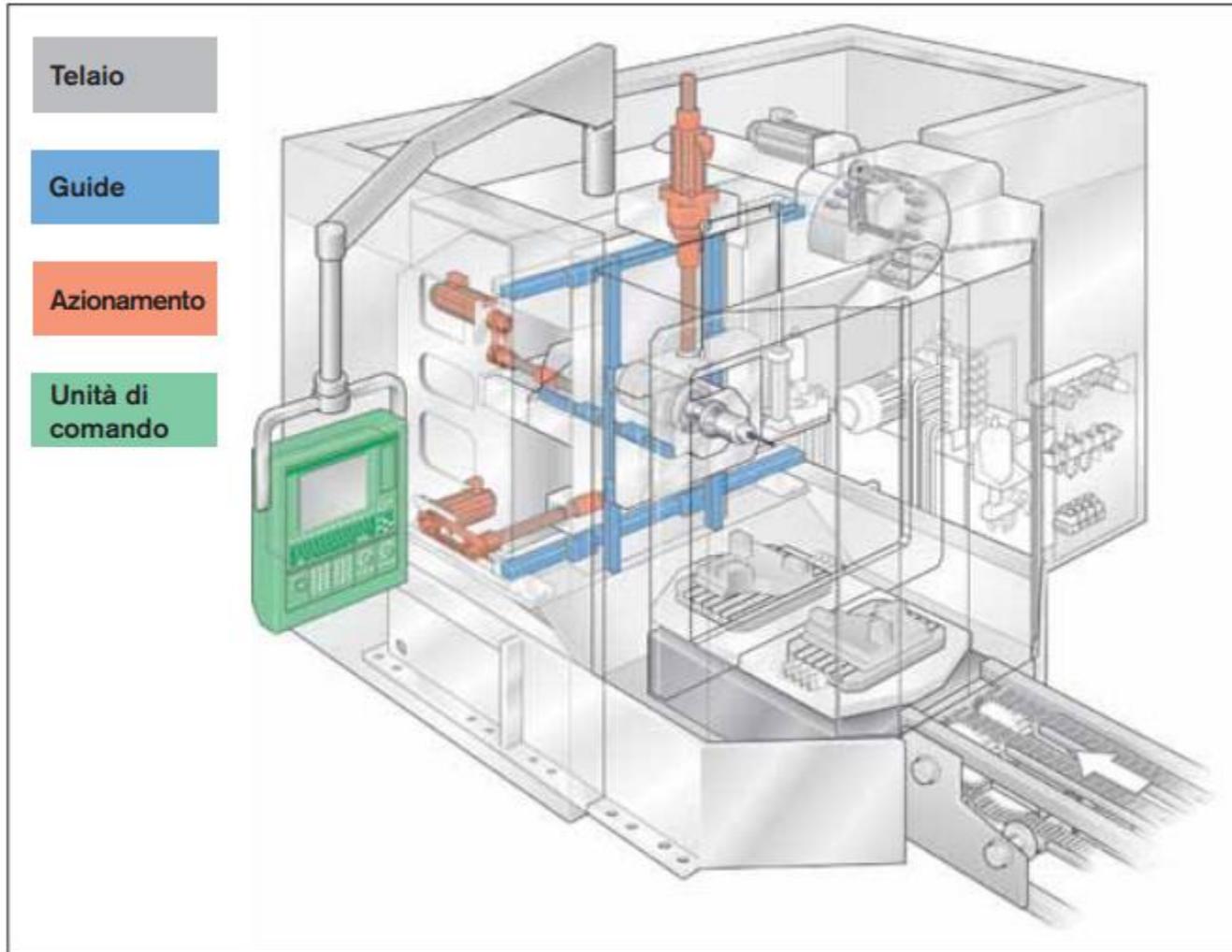
# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuur – [nscuur@units.it](mailto:nscuur@units.it)



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuur – [nscuur@units.it](mailto:nscuur@units.it)

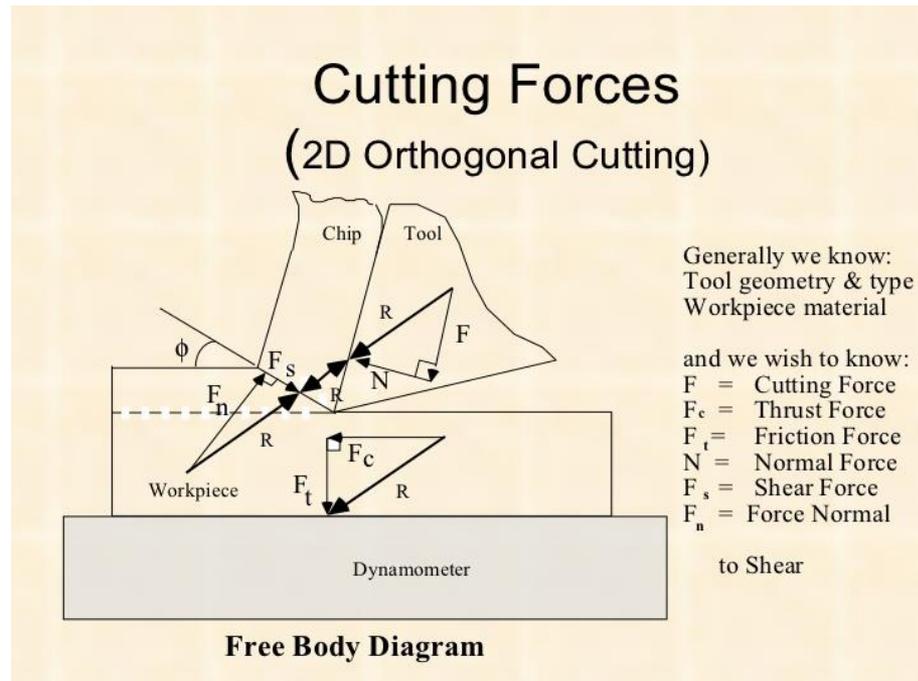


# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Struttura di un CLD

Un CDL è una macchina operatrice che implementa una lavorazione per asportazione di truciolo (es.: fresatura, foratura, alesatura, maschiatura, ecc.). Questo tipo di lavorazioni implicano la presenza di una serie di forze, oggetto di studio di discipline quali la Tecnologia meccanica.

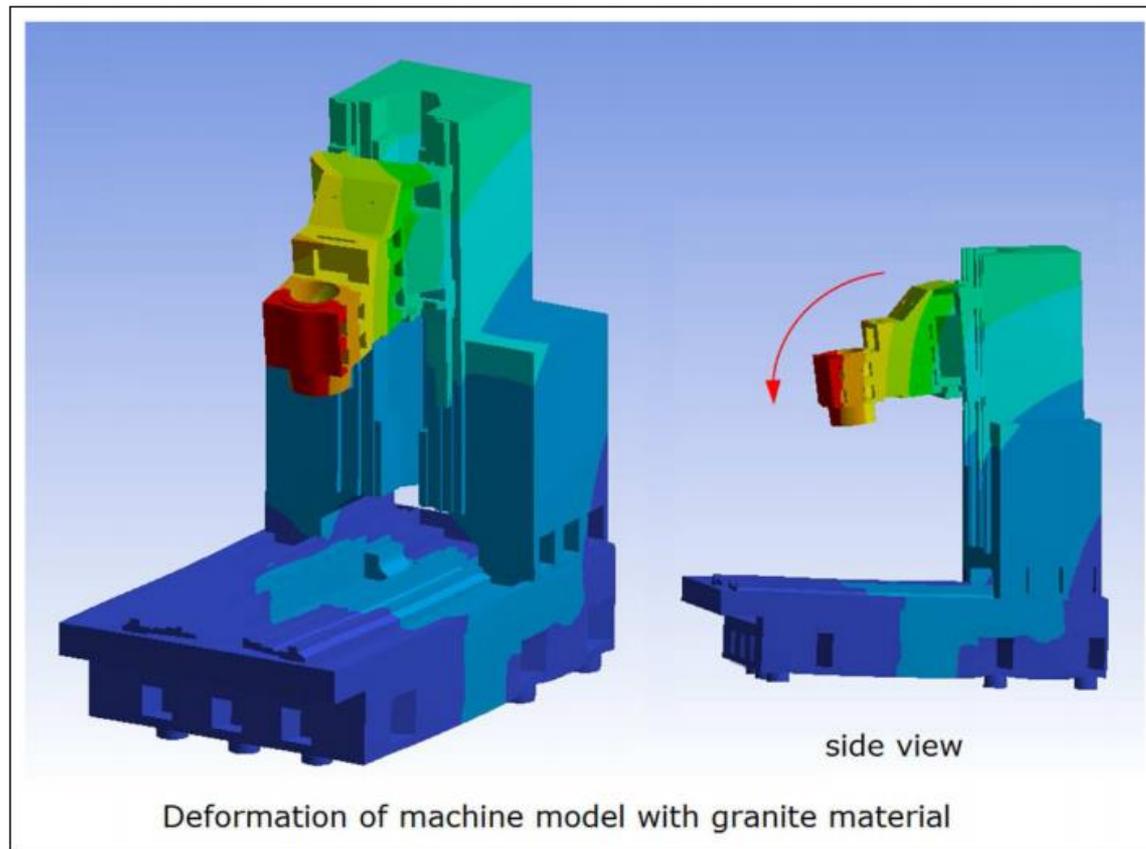


# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Struttura di un CLD

La struttura del CDL deve essere progettata in modo tale da deformarsi entro limiti controllati in relazione al proprio peso.

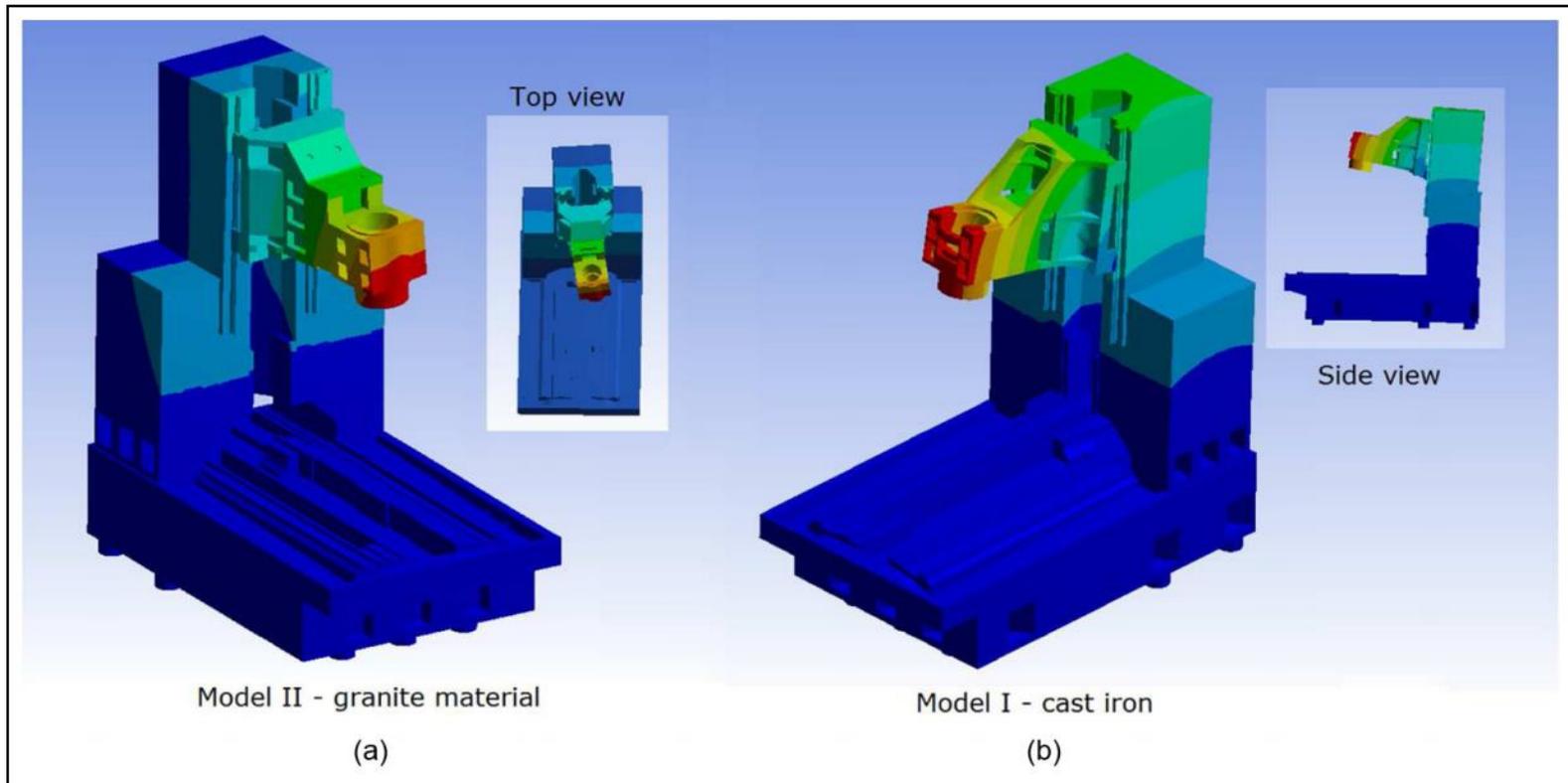


# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Struttura di un CLD

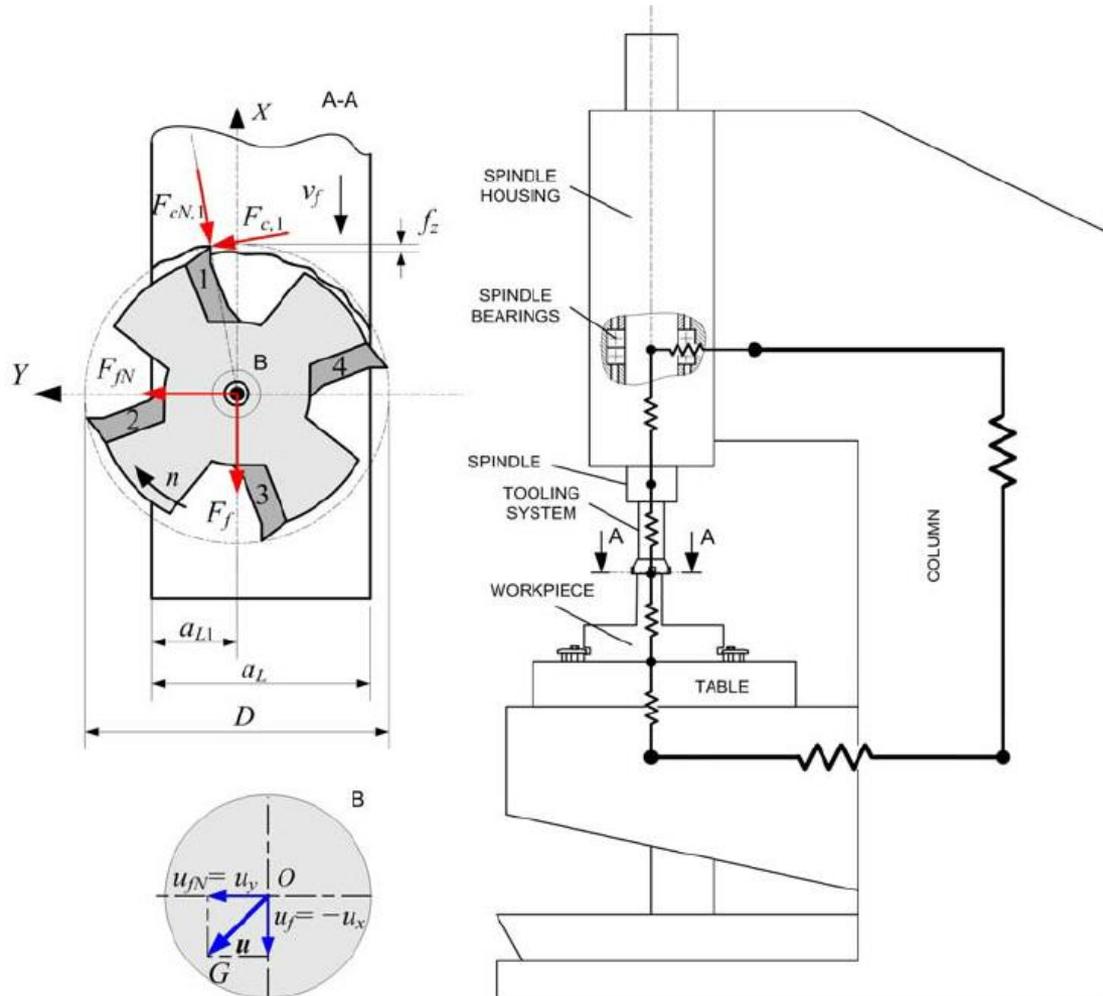
La struttura del CDL deve essere progettata in modo tale da essere in grado di fornire le reazioni vincolari relative alle forze di taglio, in modo tale da deformarsi entro limiti controllati e definiti in sede di progetto.



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Struttura di un CLD

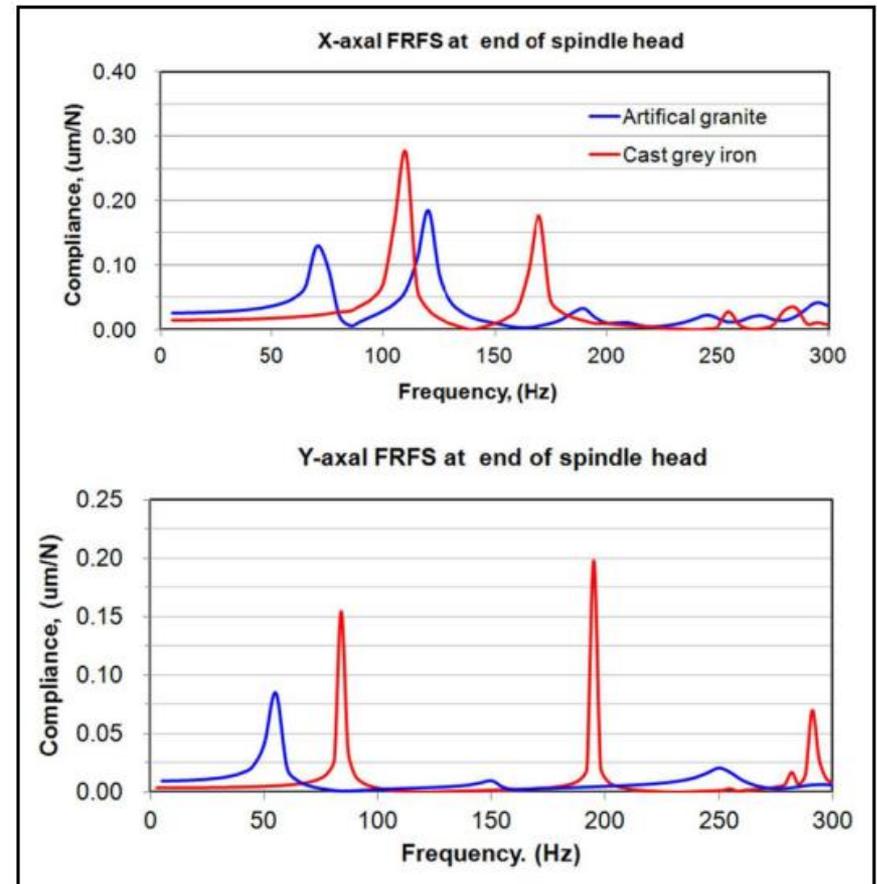
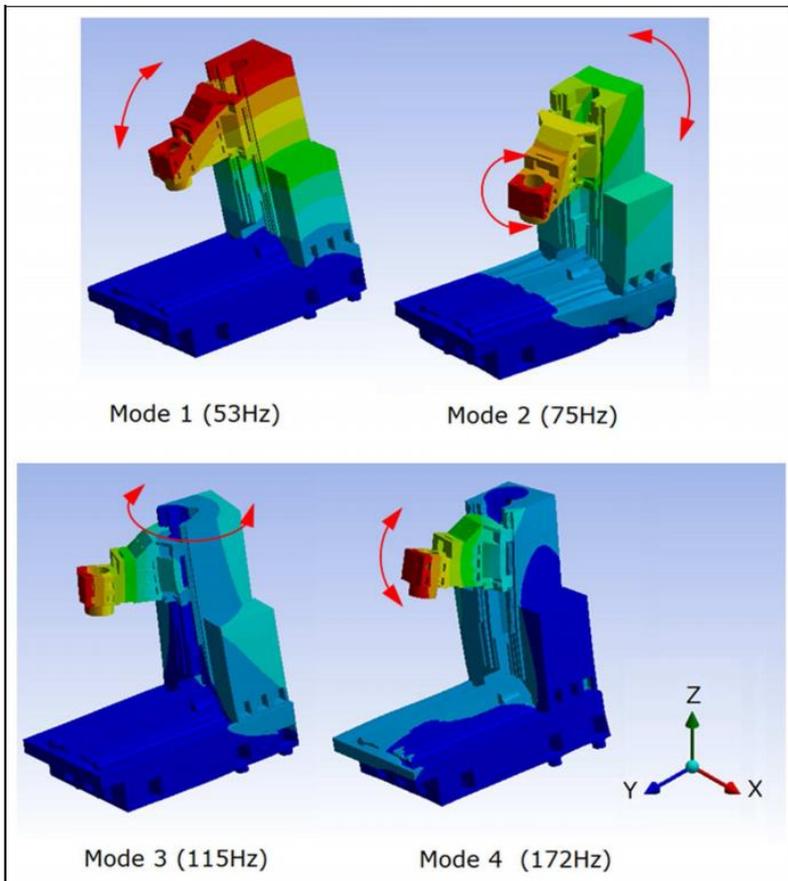


# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Struttura di un CLD

La struttura del CDL deve essere progettata in modo tale da favorire lo smorzamento delle vibrazioni indotte dal contatto dinamico tra pezzo in lavorazione ed utensile.



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)



## Struttura di un CLD

La struttura di un CDL deve essere tale da garantire la possibilità di effettuare tutte le lavorazioni per le quali la MU è stata progettata.

Si distinguono quindi, ad esempio:

- CDL a 3 assi.
- CDL a 5 assi (perché non 6 assi? I CDL a 5 assi sono veramente a 5 assi?).
- CDL a più assi.

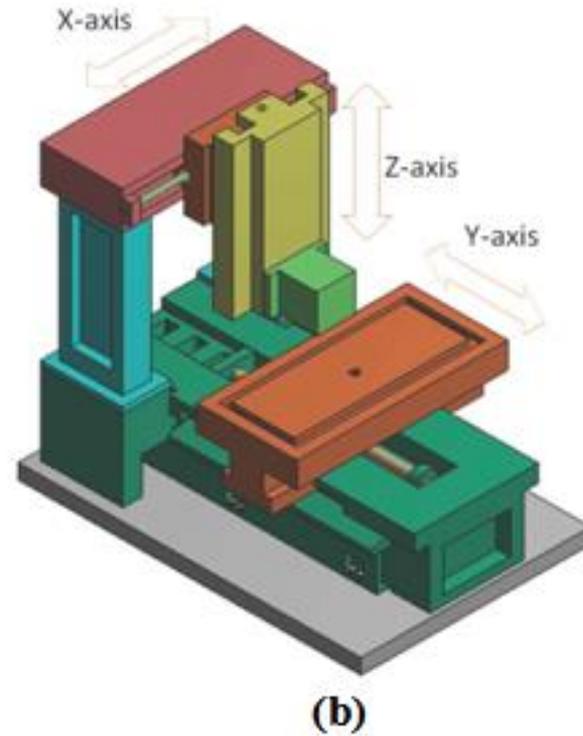
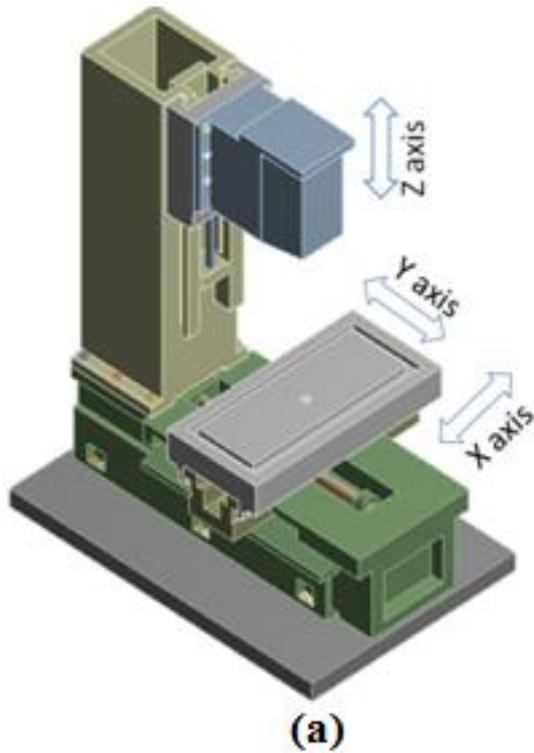
I CLD di lavoro sino a 5 assi sono utilizzati normalmente dalle aziende che si occupano di produzione meccanica generale. Le macchine a più assi sono destinate frequentemente a lavorazioni speciali, come ad esempio la produzione di serramenti, la lavorazione di travi metalliche, ecc.

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Struttura di un CLD

Esempi di CDL a tre assi: soluzioni realizzative. a) struttura aperta, b) struttura chiusa.



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Struttura di un CLD

CDL a tre assi moving gantry.

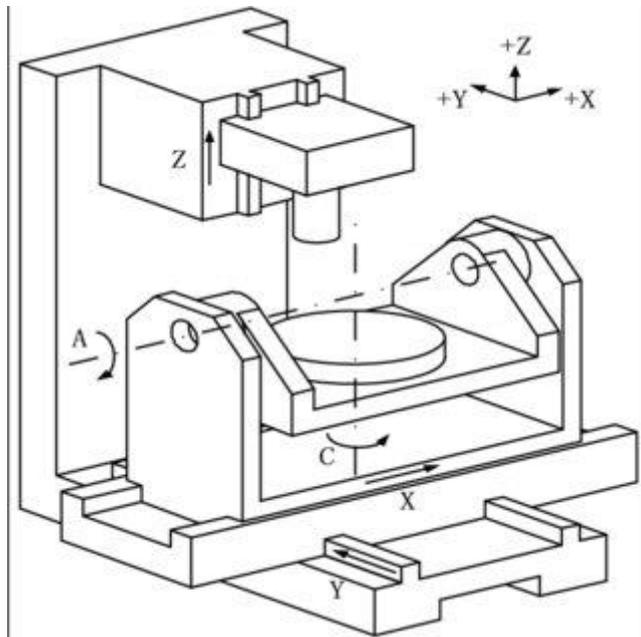


# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Struttura di un CLD

Macchina a 5 assi 3+2:



# Criteria for the design of a MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Struttura di un CLD

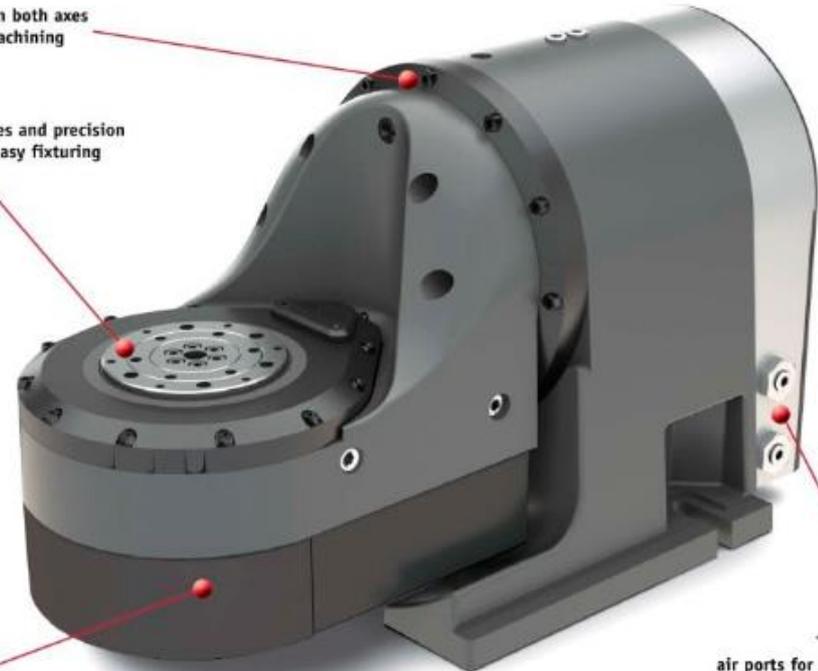
Macchina a 5 assi 3+2:



Powerful brakes on both axes  
for precise 3+2 machining

Multiple bolt circles and precision  
through-bore for easy fixturing

Ultra-compact size to fit even the  
smallest machining centers



Two user-configurable  
air ports for pneumatic fixtures or  
other air-activated devices

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Struttura di un CLD

Macchina a 5 assi 3+2:

- Riduzione del numero di setups.
- Aumenta l'accuratezza dei pezzi realizzati.
- Maggiore produttività.

Macchina full-5-axes:

- Possibilità di tiltare l'utensile nelle zone di taglio => evito le zone di interferenza.
- Possibilità di mantenere l'utensile ortogonale alla superficie di taglio sulle superfici freeform: maggiore efficienza nell'impiego dell'utensile (ad es.: uso la superficie laterale della fresa anziché quella frontale), maggiore efficienza delle operazioni di taglio, migliore finitura.
- Possibilità di utilizzare diversi tipi di utensili (ad es. nei sistemi a 3 assi sono spesso vincolato all'impiego di frese sferiche per le lavorazioni di contouring).
- < concorrenza...

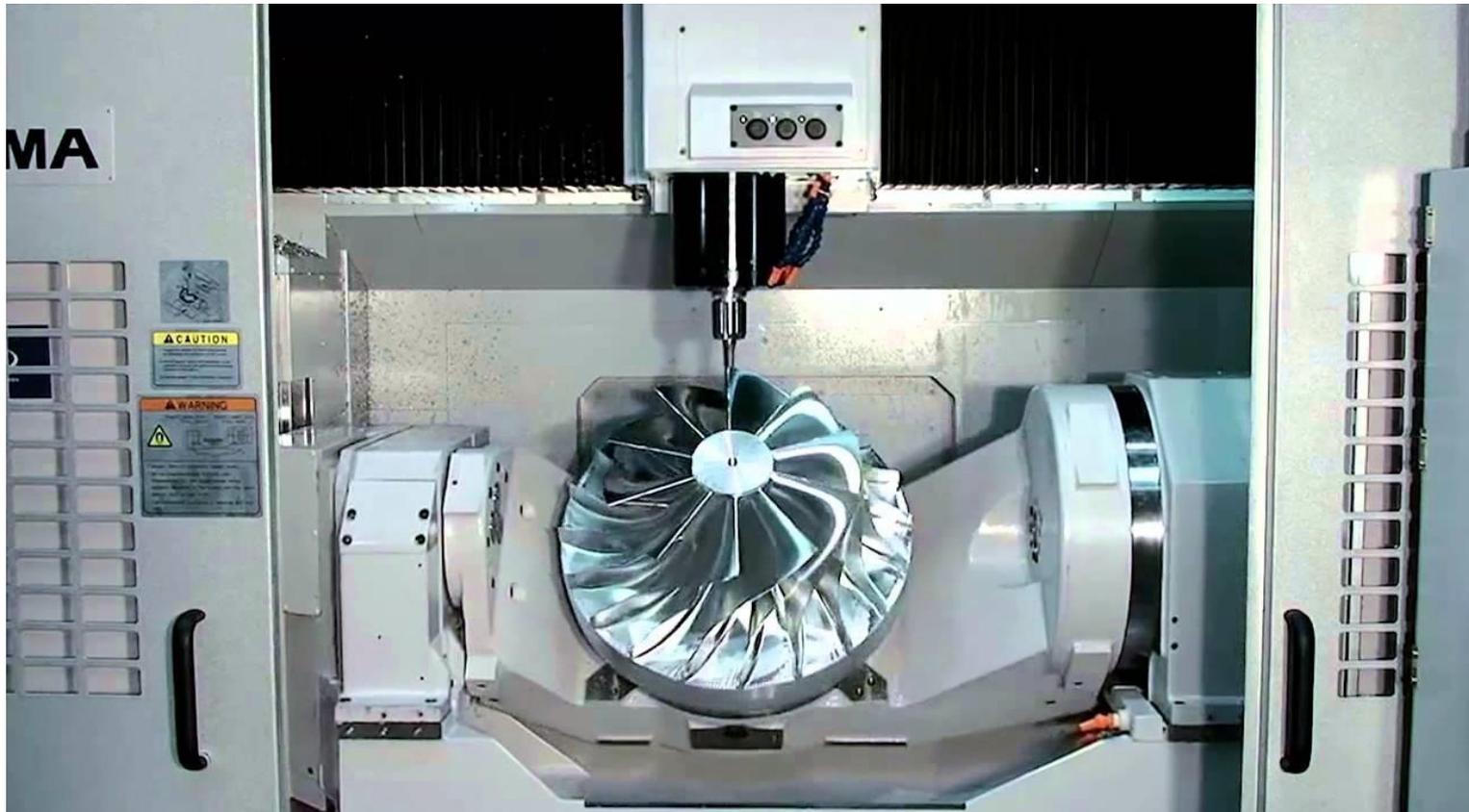
Utilizzate nel settore aerospaziale, biomedico, ecc.

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Struttura di un CLD

Macchina full-5-axes:

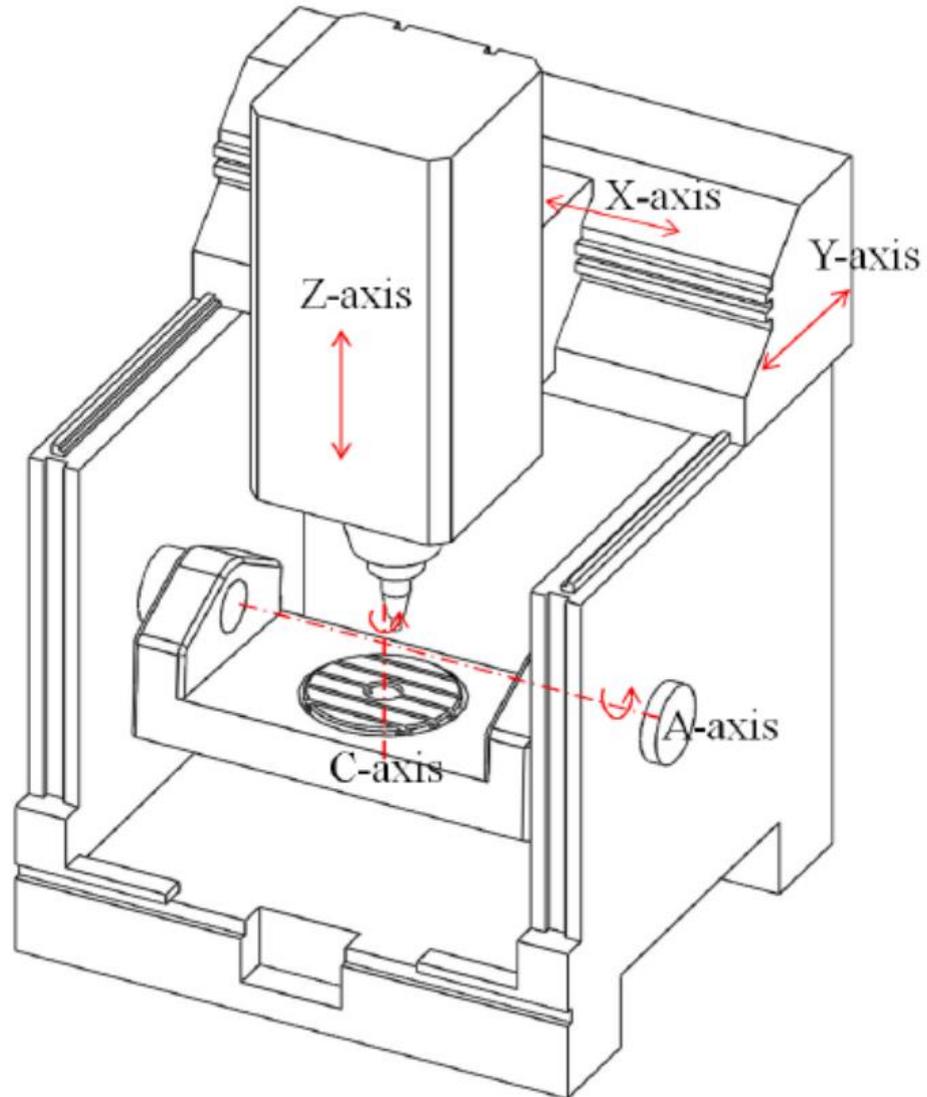


# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuur – [nscuur@units.it](mailto:nscuur@units.it)

## Struttura di un CLD

Macchina full-5-axes:



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuur – [nscuur@units.it](mailto:nscuur@units.it)

## Struttura di un CLD

Macchina full-5-axes:

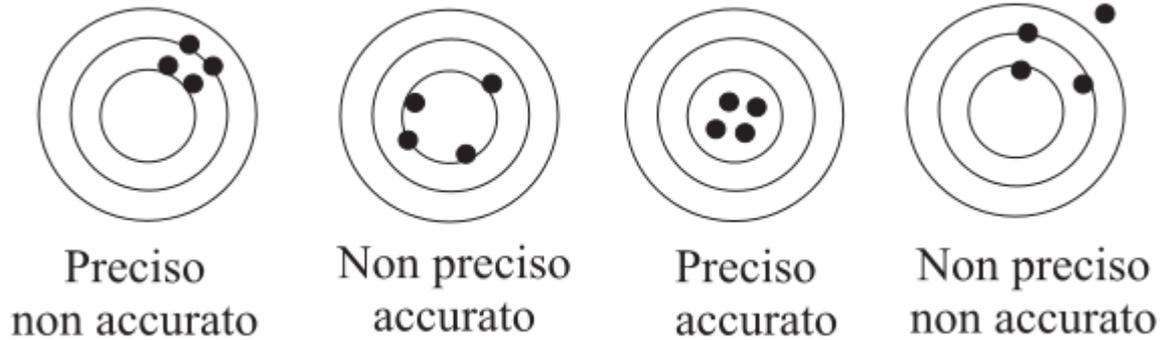


# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Struttura di un CLD

La geometria di un CDL deve essere selezionata in modo tale da rispettare i vincoli di progetto in termini di precisione ed accuratezza.



Si distinguono diversi tipi di precisione; per quanto di nostro interesse, consideriamo:

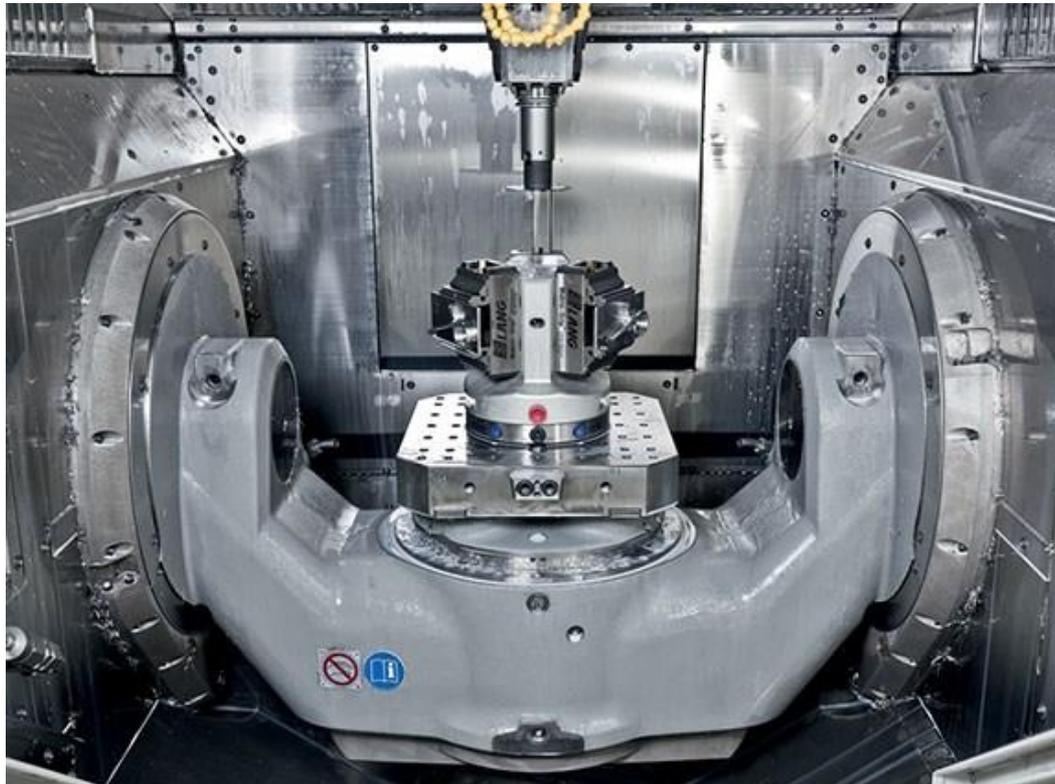
- **ripetibilità:** la dispersione di valori ottenuta usando gli stessi strumenti, con gli stessi operatori, nelle stesse condizioni ed in un tempo ragionevolmente breve,
- **riproducibilità:** la dispersione ottenuta compiendo le stesse misurazioni con strumenti ed operatori differenti e/o su un tempo relativamente lungo.

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Struttura di un CLD

Inoltre, la geometria di un CDL deve essere selezionata in modo tale da facilitare l'impiego del CDL (ad es.: operazioni di carico/scarico, pulizia, misurazione dei pezzi lavorati, ecc.) e da renderne economicamente sostenibile la realizzazione.



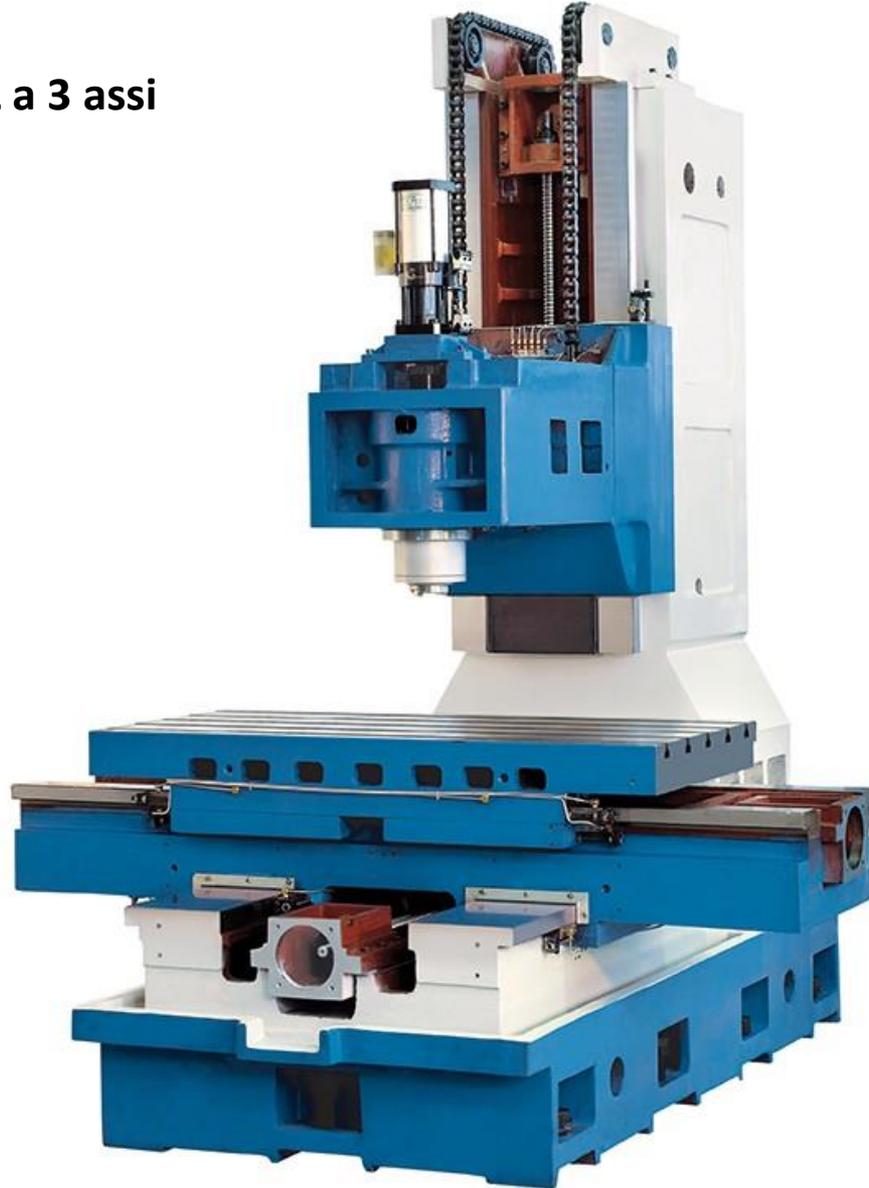
# Criteria for the design of a MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Classification structure of a 3-axis CDL

Vertical, stand

2 axes on the workpiece, 1 on the spindle



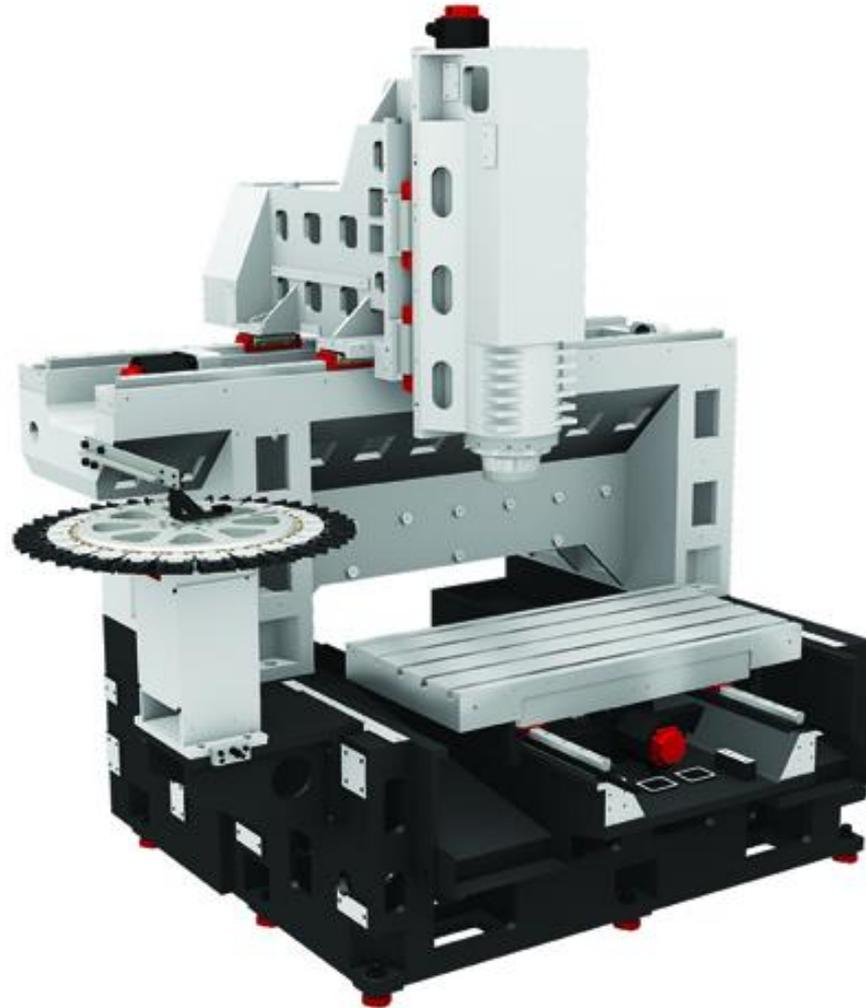
# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuur – [nscuur@units.it](mailto:nscuur@units.it)

## Classificazione struttura di un CDL a 3 assi

Verticale, stand

1 asse sul pezzo, 2 sul mandrino



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuur – [nscuur@units.it](mailto:nscuur@units.it)

## Classificazione struttura di un CDL a 3 assi

Verticale, stand  
pezzo fisso, 3 assi sul mandrino



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuur – [nscuur@units.it](mailto:nscuur@units.it)

## Classificazione struttura di un CDL a 3 assi

Verticale, fixed gantry (portal)

1 asse sul pezzo, 2 assi sul mandrino



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuur – [nscuur@units.it](mailto:nscuur@units.it)

## Classificazione struttura di un CDL a 3 assi

Verticale, mov  
3assi sul manc



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)



## Materiali

Il materiale storicamente più utilizzato per la realizzazione di strutture di MU (ed anche di CDL) è la ghisa grigia o ghisa lamellare.

Da Wikipedia:

«La ghisa lamellare o ghisa grigia costituisce la tipologia di ghisa più diffusa ed è prodotta con la fusione di rottame di ghisa e di acciaio, con l'aggiunta di elementi grafitizzanti (C compreso tra il 2.5% e il 4% in peso, Si tra l'1% e il 3% sempre in peso, P).

Il silicio è l'elemento grafitizzante per eccellenza.

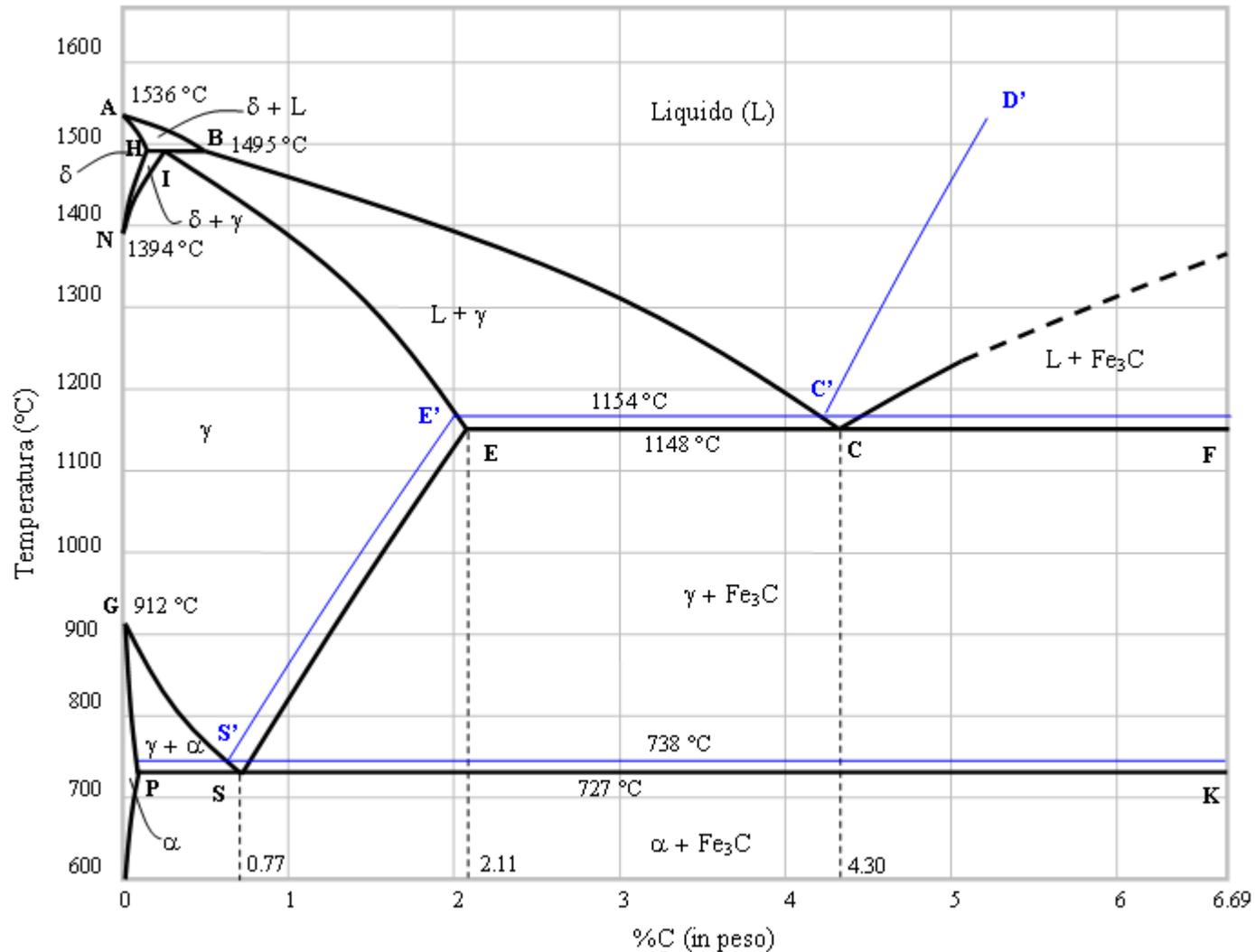
A causa delle lamelle, del silicio e del fosforo, spesso si ha fragilità; per ridurla si inocula il bagno con CaSi, che favorisce la nucleazione eterogenea e quindi la formazione di lamelle corte. In ogni caso la fragilità indotta dalla grafite in lamelle mette in secondo piano la costituzione perlitica o ferritica della matrice metallica e rende inutile parlare di snervamento, duttilità e resilienza.

La quantità di grafite è inversamente proporzionale alla velocità di raffreddamento.»

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Materiali



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Materiali

### GHISA G25 UNI 5007

(MEEHANITE GD250, BS1452 GRADO 17, DIN 1691 GG25, ASTM-A48 GRADO 35, ISO-R185 GRADO 25)

- Trazione Rm 250 N/mm<sup>2</sup> - Compressione Rc 900 N/mm<sup>2</sup>

- Allungamento A% 1

- Durezza BRINELL HB 190-240

La ghisa G25 è una lega ferro-carbonio in cui il contenuto di carbonio varia dal 3,2 al 3,5%.

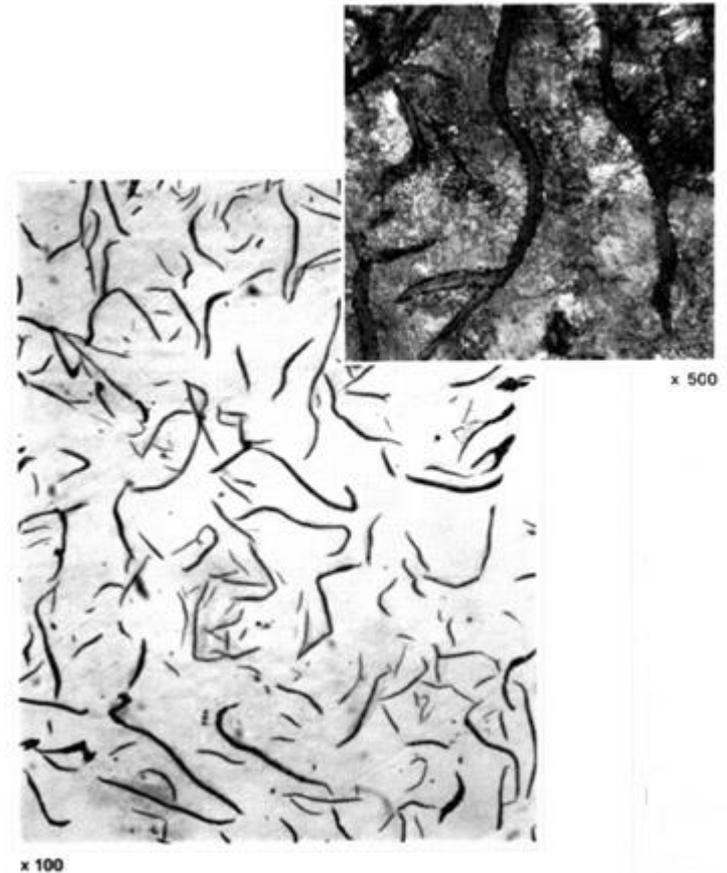
Oltre al carbonio la lega è composta da silicio (1,9 a 2,1 %), manganese (0,65 a 0,8 %) e zolfo (fino al 0,1 %).

Il carbonio si presenta sotto forme di lamelle o scaglie di grafite.

Le caratteristiche della ghisa G25 dipendono dalle dimensioni e dalla forma di lamelle di grafite.

Le principali proprietà della ghisa G25 sono una buona resistenza alla trazione e la sua durezza.

Possiede inoltre un elevato potere di smorzamento ed assorbimento delle vibrazioni grazie alle lamelle di grafite, rigidità e basso coefficiente di attrito.



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)



## Materiali

La ghisa sferoidale è un particolare tipo di ghisa (ossia una lega ferro-carbonio con tenore di carbonio dal 3,4 al 3,7%) in cui il carbonio (o meglio, la grafite) si presenta all'interno della struttura sotto forma di noduli a forma di sferoidi. Questi sono immersi in una matrice metallica la cui struttura è funzione della composizione chimica, della velocità di raffreddamento in fase di solidificazione e degli eventuali trattamenti termici successivi.

La struttura sferoidale viene ottenuta aggiungendo al metallo fuso degli opportuni agenti “nodulizzatori”, come, ad esempio, Magnesio, Cerio o Ittrio. La particolare struttura sferoidale porta numerosi vantaggi in termini di caratteristiche meccaniche del materiale.

La forma sferica infatti riduce le concentrazioni di tensione interne al materiale e, essendo la forma che a parità di volume offre la minore superficie, è quella che meno danneggia la matrice metallica, consentendo di ottenere caratteristiche superiori rispetto a quelle della ghisa lamellare.

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)



## Materiali

La ghisa sferoidale è l'unica ghisa ad essere duttile ossia ad essere in grado di sostenere deformazioni plastiche.

Le principali proprietà meccaniche della ghisa sferoidale sono la resistenza meccanica simile agli acciai, la durezza, l'allungamento e la tenacità ed una elevata resistenza all'usura e alla fatica.

La resistenza all'ossidazione è notevolmente migliore rispetto alla ghisa a grafite lamellare. Possiede inoltre una buona capacità di smorzamento e assorbimento delle vibrazioni ed un basso coefficiente di attrito.

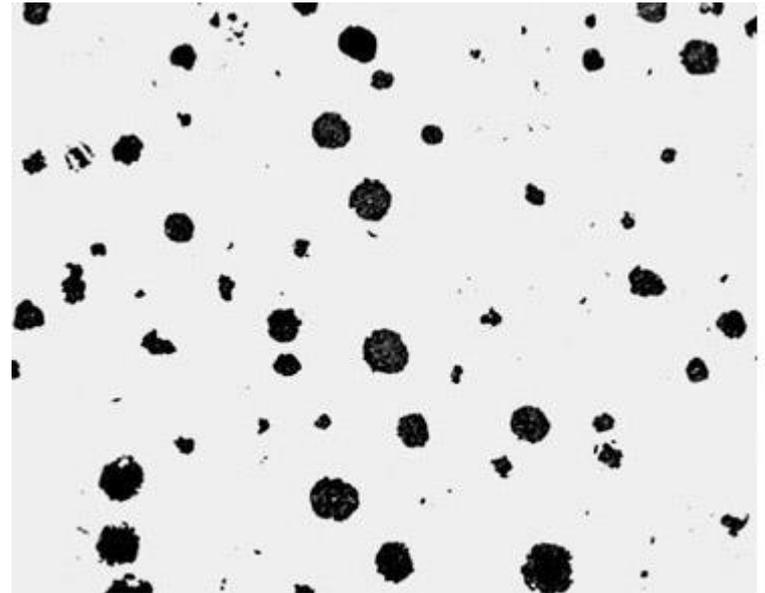
# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Materiali

**GHISA SFEROIDALE GS 600-3 UNI 4544**(MEEHANITE SFP 600, BS2789 37/3, DIN 1693 GGG60, ASTM-A536 80-55-06, ISO-R1083 600/3)

- *Trazione  $R_m$  600 N/mm $q$*
- *Compressione  $R_c$  1000 N/mm $q$*
- *Allungamento  $A\%$  3*
- *Durezza BRINELL HB 190-270*



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)



## Materiali

Spesso, nell'ambito della costruzione di macchine utensili, si sente parlare di ghisa «Meehanite». Cosa si intende?

- Con il termine Meehanite si intende un processo, che in diverse sue fasi e varianti risulta essere brevettato
- Con il termine Meehanite si identificano inoltre una serie di ghise meccaniche mediante il quale è possibile ottenere ghise lamellari, sferoidali e ghise bianche dotate di particolari proprietà meccaniche, quali: resistenza, duttilità, capacità di smorzare le vibrazioni, lavorabilità alla macchina utensile, tenacità, resistenza all'abrasione ed all'usura, resilienza, possibilità di effettuare trattamenti termici di indurimento, ecc.
- Col termine Meehanite si identifica inoltre un gruppo selezionato di fonderie di livello mondiale in grado di fornire fusioni di qualità utilizzando i processi e il materiali di cui sopra.

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)



## Materiali

I processi ed i prodotti identificati dal marchio Meehanite possono essere concessi in licenza sulla base di un pacchetto comprendente:

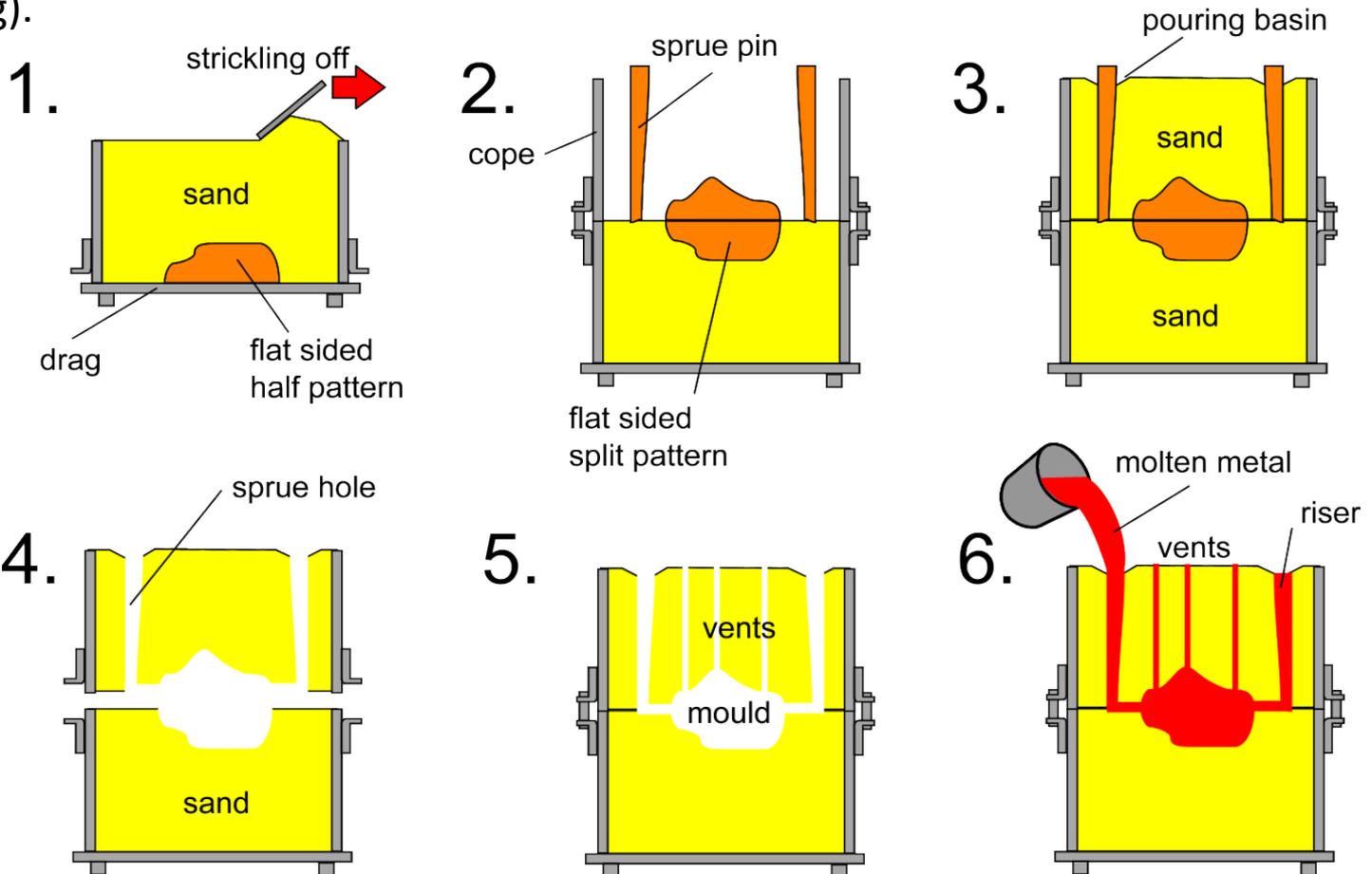
- Ventisei diversi tipi di metalli Meehanite compatibili con le varie esigenze dell'industria.
- Revisioni operative e metallurgiche complete.
- Programmi di riduzione degli scarti e assistenza relativa alla gestione della qualità.
- Analisi dei costi di produzione.
- Pubblicità e marketing innovativi con notevole esposizione sul sito Web per i licenziatari.
- Formazione del personale.
- Visite regolari alla fonderia per effettuare verifiche della qualità dei prodotti.
- Aggiornamenti tecnologici sui processi di fonderia e applicazioni di colata.
- Addestramento pratico per le operazioni di fonderia.
- Audit delle prestazioni della fonderia al fine di raccomandare accorgimenti per possibili miglioramenti della produttività.
- Supporto per l'ampliamento della gamma di getti prodotti dalla fonderia.

# Criteria per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Materiali

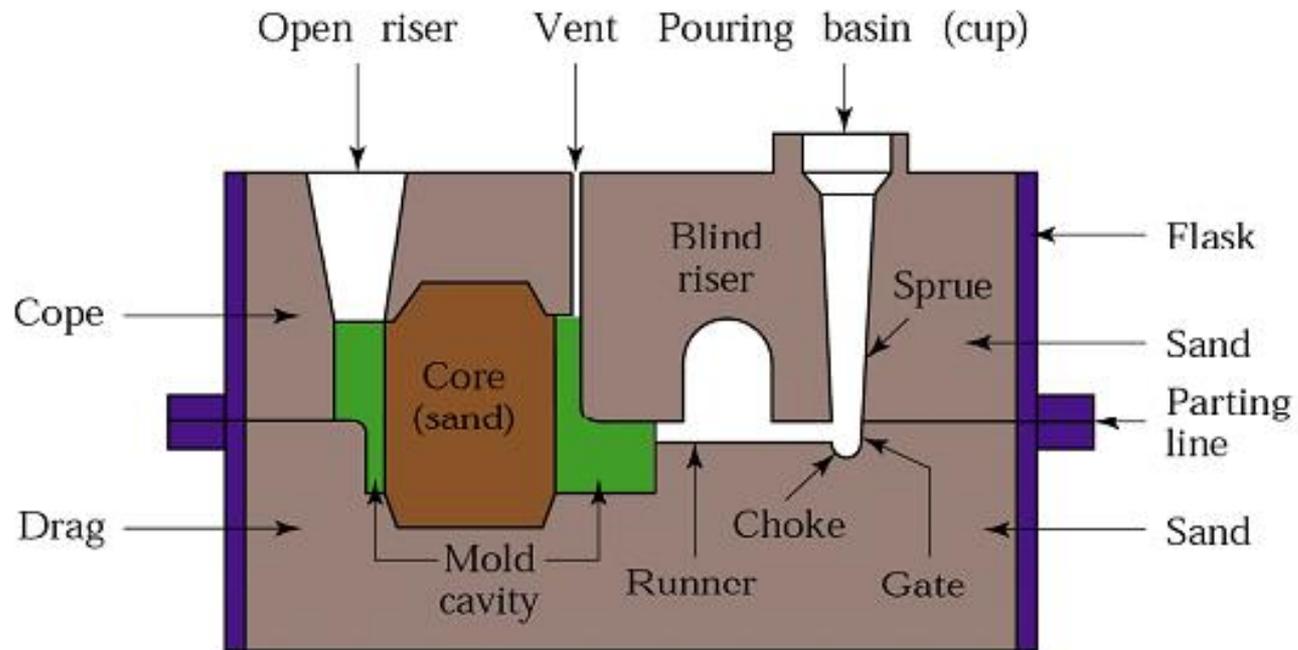
Un processo molto utilizzato per la produzione di strutture di MU è la colata in terra (sand casting).



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Materiali



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Materiali

La finitura ottenibile dipende dal tipo di materiale da formatura utilizzato, ma in genere non è sufficiente per quanto riguarda le parti della macchina utensile destinate a generare spostamenti precisi ed accurati.



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Materiali

I vantaggi derivanti dall'impiego della ghisa per la realizzazione delle strutture delle MU sono i seguenti:

- È possibile gestire un alto grado di complessità della forma (limitato solo dal modello).
- È possibile realizzare cavità e fori, purché le loro dimensioni non siano troppo ridotte.
- Dimensioni possibili dei getti da 25 g a 400 t di peso.
- Costo dell'attrezzaggio necessario relativamente contenuto.
- Possibilità di riciclare il materiale utilizzato.
- Basso costo delle attrezzature necessarie.
- Possibilità di utilizzare materiali con caratteristiche ottimali per l'impiego in MU.

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Materiali

Per contro, ci sono diversi svantaggi:

- Bassa percentuale di utilizzo del materiale (tipicamente, il 20%-50% del materiale viene perso nei runners, nelle materozze, ecc.); gli scarti possono essere riciclati, ma con un non trascurabile costo energetico.
- Impiego di cospicue quantità di energia per portare il materiale allo stato fuso ( $C_p=0.460 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} + \sim 125 \text{ kJ/kg}$  latent heat; melting point  $1.150\text{-}1.200 \text{ }^\circ\text{C}$ ).
- Necessità di valutare i ritiri e di disegnare il modello per evitare la formazione di cricche, porosità, cavità di ritiro, ecc.
- Necessità di effettuare NDT.
- Non è possibile ottenere getti net-shape (runners, risers, ecc.) => alto costo manodopera.
- Tolleranze dimensionali scarse.
- Stabilità del materiale nel tempo incerta (invecchiamento, tensioni residue, ecc.)

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Materiali



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Materiali



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Materiali

Per ovviare ai problemi sopra indicati, diversi produttori hanno basato processi produttivi basati su materiali alternativi alla ghisa. Tra essi, hanno acquisito particolare importanza i seguenti:

- Acciaio.
- Granito naturale (diabase).
- Granito sintetico (mineral casting, epoxy-granite).
- Cemento UHPC.

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)



## Materiali

L'impiego dell'acciaio nella costruzione delle macchine utensili comporta notevoli vantaggi, primo fra i quali la possibilità di realizzare le strutture mediante tecniche di saldatura (Scienza dei materiali -> saldabilità dei materiali metallici).

Sono stati effettuati molti studi al riguardo, valutando diverse soluzioni tecniche (ad es. sono stati verificati i vantaggi legati al riempimento delle strutture tubolari saldate con materiali di vario tipo). Al momento, tuttavia, l'impiego di strutture di questo tipo è limitato dalle difficoltà legate ai seguenti fattori:

- Necessità di provvedere alla distensione delle tensioni interne alla struttura derivanti dai processi di saldatura.
- Ridotta capacità dell'acciaio di smorzare le vibrazioni.
- Elevato costo dei processi di assemblaggio mediante saldatura, rispetto ai processi di fonderia.

In particolare, l'ultimo punto evidenziato vanifica i vantaggi derivanti dalla maggiore flessibilità in fase di costruzione.

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuur – [nscuur@units.it](mailto:nscuur@units.it)

## Materiali

Pertanto, l'impiego di strutture tubolari in acciaio (talvolta si utilizza anche l'alluminio) è limitato attualmente alla costruzione di macchine leggere (pantografi, ecc.).



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Materiali

L'uso del granito naturale nella costruzione delle strutture di macchine utensili è molto diffuso nel settore delle macchine metrologiche.



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Materiali

I vantaggi derivanti dall'impiego di talune tipologie di granito sono legati all'eccezionale stabilità dimensionale di tali materiali. Questa, a sua volta, dipende dal fatto che il materiale in questione ha avuto centinaia di migliaia o milioni di anni di tempo per rilassare gli sforzi interni, nell'ambito dei giacimenti dai quali viene prelevato. Tra le tipologie di granito utilizzabili, una riveste particolare importanza: si tratta della varietà denominata «diabase».

Da Wikipedia: «Il termine **diabase** indica una roccia magmatica filoniana (o ipoabissale o subvulcanica) di composizione gabbrica, ma a grana più fine dei normali gabbri, che solitamente presenta una particolare tessitura detta *ofitica*. I minerali costituenti sono quelli dei gabbri, vale a dire plagioclasti, pirosseni ed eventualmente piccole quantità di quarzo. Alcuni diabasi possono essere effusivi. Il colore è grigio-verde scuro o nero.»

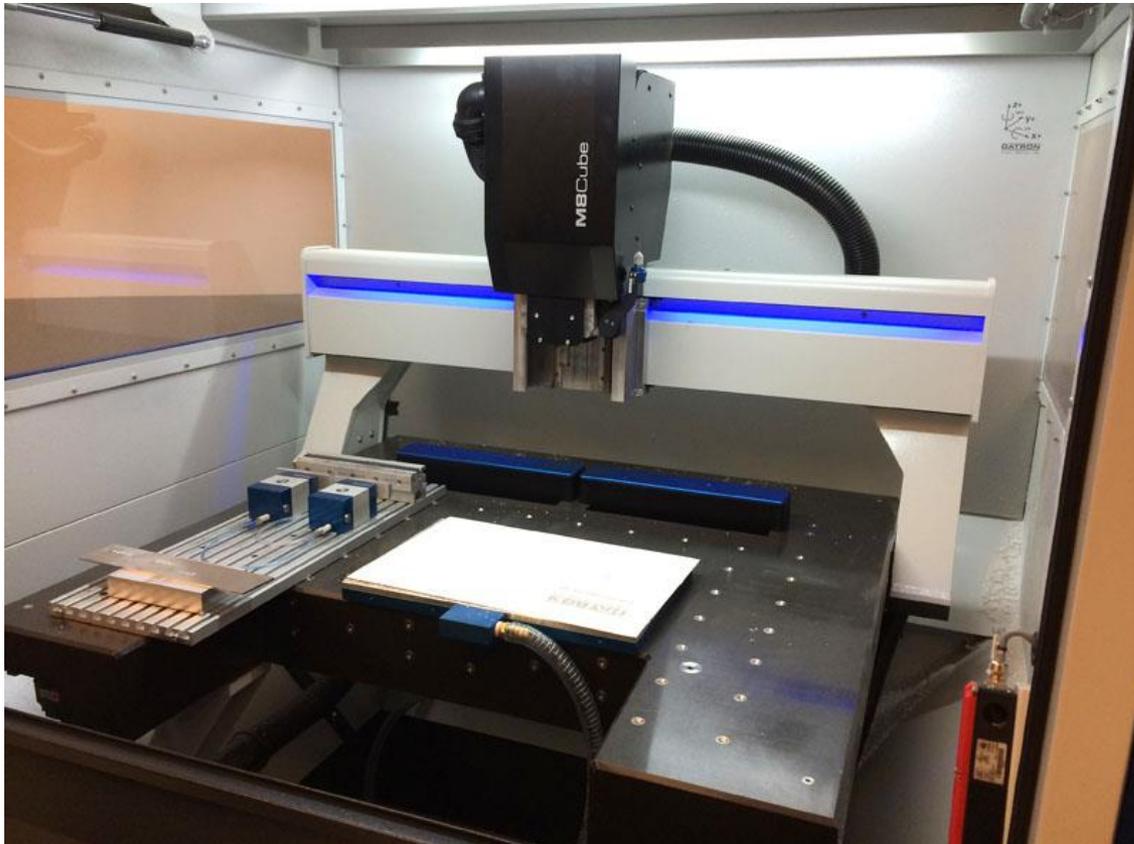


# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Materiali

Il diabase può essere lavorato alla macchina utensile, utilizzando utensili diamantati, allo scopo di realizzare strutture o parti di strutture di CDL leggeri.



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)



## Materiali

Il principali limiti del granito naturale nell'applicazione considerata sono:

- Il fatto che si tratta, in ogni caso, di un materiale fragile.
- La difficoltà dei processi di lavorazione, derivante dalla durezza del materiale.
- Le limitazioni nella dimensione delle strutture realizzabili.
- La limitata disponibilità.
- L'elevato costo.

Per il resto, il materiale è eccellente sia dal punto di vista della capacità di dissipare le vibrazioni meccaniche, sia per quanto riguarda la possibilità di ottenere elevati gradi di finitura (sino al decimo di  $\mu\text{m}$ ).

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Materiali

Una possibile alternativa al diabase, più economica ed in grado di risolvere i principali problemi evidenziati è costituita dalla classe di materiali noti come **mineral casting**, o **epoxy granite**.

Se tratta di materiali compositi, costituiti da una matrice di resina termoindurente (solitamente epossidica) e da rinforzi inerti di natura minerale (miscela di varie granulometrie di ghiaie e sabbie di granito, quarzo, calcare, ecc.).

La tecnologia costruttiva è analoga a quella utilizzata per realizzare un manufatto in cemento armato e consiste di una serie di fasi:

1. Lavaggio, essiccazione, vagliatura e selezione degli inerti.
2. Miscelazione degli inerti (curva di Fueller).
3. Preparazione della resina bicomponente.
4. Betonaggio della miscela inerti + resina.
5. Colata in appositi casseri.
6. Sformatura e finitura.

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Materiali

Gli inerti vengono selezionati in modo tale da massimizzare il volume da essi occupato. In particolare, possono essere utilizzati i criteri impiegati per la formulazione del calcestruzzo (ad es. curva di Fueller).

La riduzione della frazione volumetrica di resina utilizzata è vantaggiosa per una serie di motivi:

- Miglioramento della resistenza a compressione e del modulo elastico.
- Riduzione del coefficiente di espansione termica.
- Riduzione del calore sviluppato in fase di reticolazione (abbassamento del picco esotermico).
- Miglioramento della resistenza all'usura ed all'abrasione.
- Miglioramento della stabilità dimensionale (riduzione dei fenomeni di creep).
- Riduzione del costo della struttura.

# Criteria per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Materiali

	Composite Mineral Casting	Cast Iron	Natural Granite
Damping	High	Low	Low
Heat Performance	Low heat conductivity and high spec. heat capacity	High heat conductivity and low spec. heat capacity	Medium heat conductivity and medium specific heat capacity
Embedded Parts	Unlimited design and One-piece mould and seamless connection	Machining necessary	Machining and bonding
Lead Time	Much shorter than cast iron or natural granite	Ageing treatment is necessary for high precision products	A long time is necessary for machining and bonding
Corrosion Resistance	Extra high	Low	Medium
Environmental Friendliness	Low energy consumption	High energy consumption	Limited natural resource

# Criteria per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Materiali

	Gurit Composite Mineral Casting		Other Materials	
Material Properties	GA01	GA02	Cast Iron	Natural Granite
Flexural Strength (Mpa)	30-40	40-50	100-300	20-30
Compressive Strength (Mpa)	150-170	170-190	580-950	200-300
Elasticity Modulus (Gpa)	40-45	40-50	90-130	50-100
Damping Ratio	0.01-0.02	0.01-0.02	0.001	0.002
Heat Conductivity (W/(m*k))	0.7-1.5	0.7-1.2	50-60	1.5-2.5
Density (kg/dm <sup>3</sup> )	2.3	2.4	7.2	3.0
Poisson's Ratio	0.2-0.3	0.15-0.25	0.2-0.3	0.2-0.3
CTE(10 <sup>-6</sup> * K <sup>-1</sup> )	15-17	11-13	8-11	5-7
Specific Heat Capacity[KJ/(kg*K)]	1.55	1.57	0.50	0.80

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

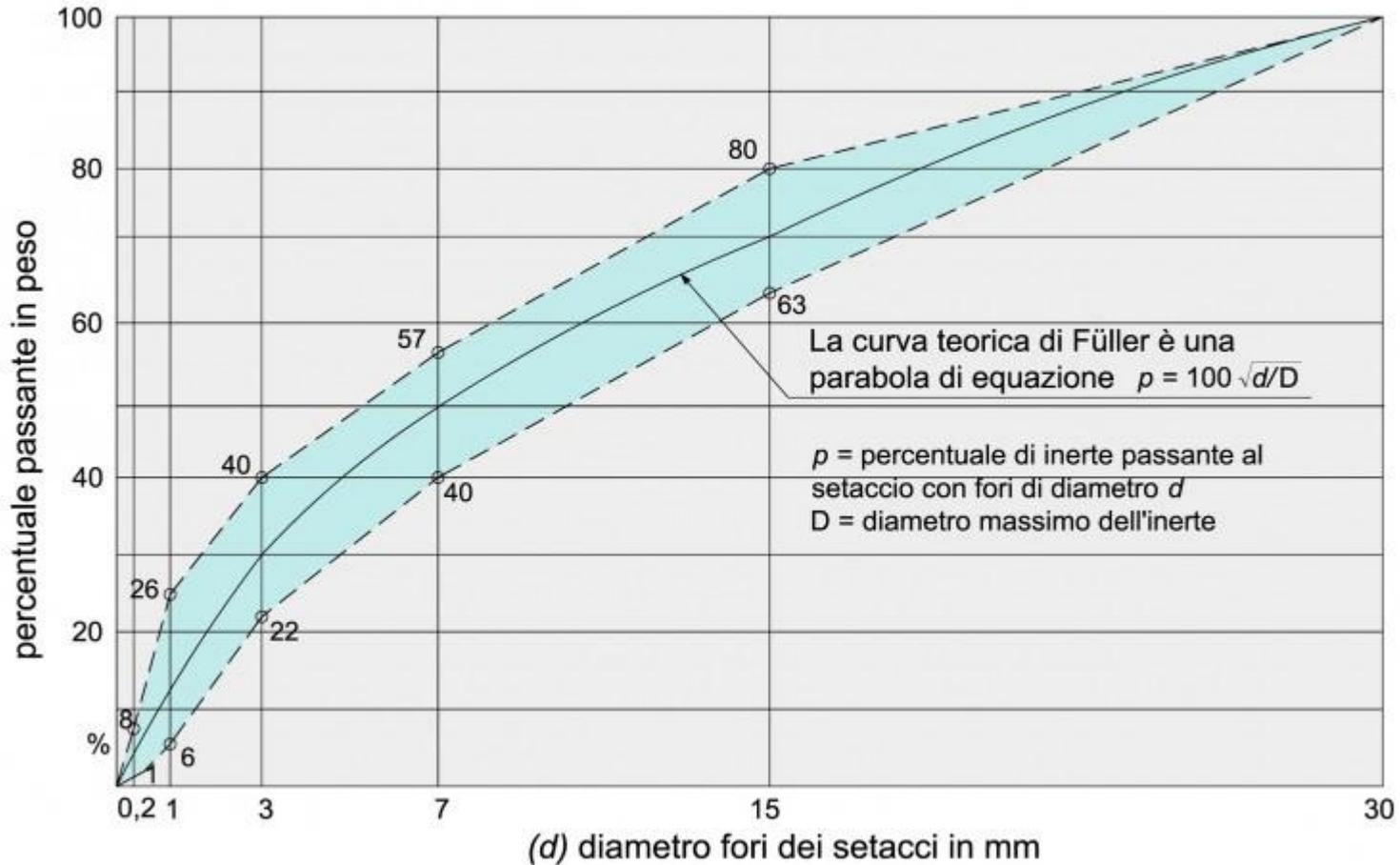
## Materiali



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

M



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Materiali

Le proprietà salienti delle strutture realizzate con la tecnologia Mineral Casting sono:

- Alta precisione dimensionale.
- Eccezionale capacità di smorzamento delle vibrazioni.
- Tempi di produzione ridotti.
- Costi contenuti anche per piccole serie.
- Possibilità di inglobare nella struttura elementi filettati, componenti metallici, fori, cave e canali di raffreddamento, ecc.
- Alta resistenza ai fluidi da taglio.
- Impatto ridotto sull'ambiente (riciclabilità?).

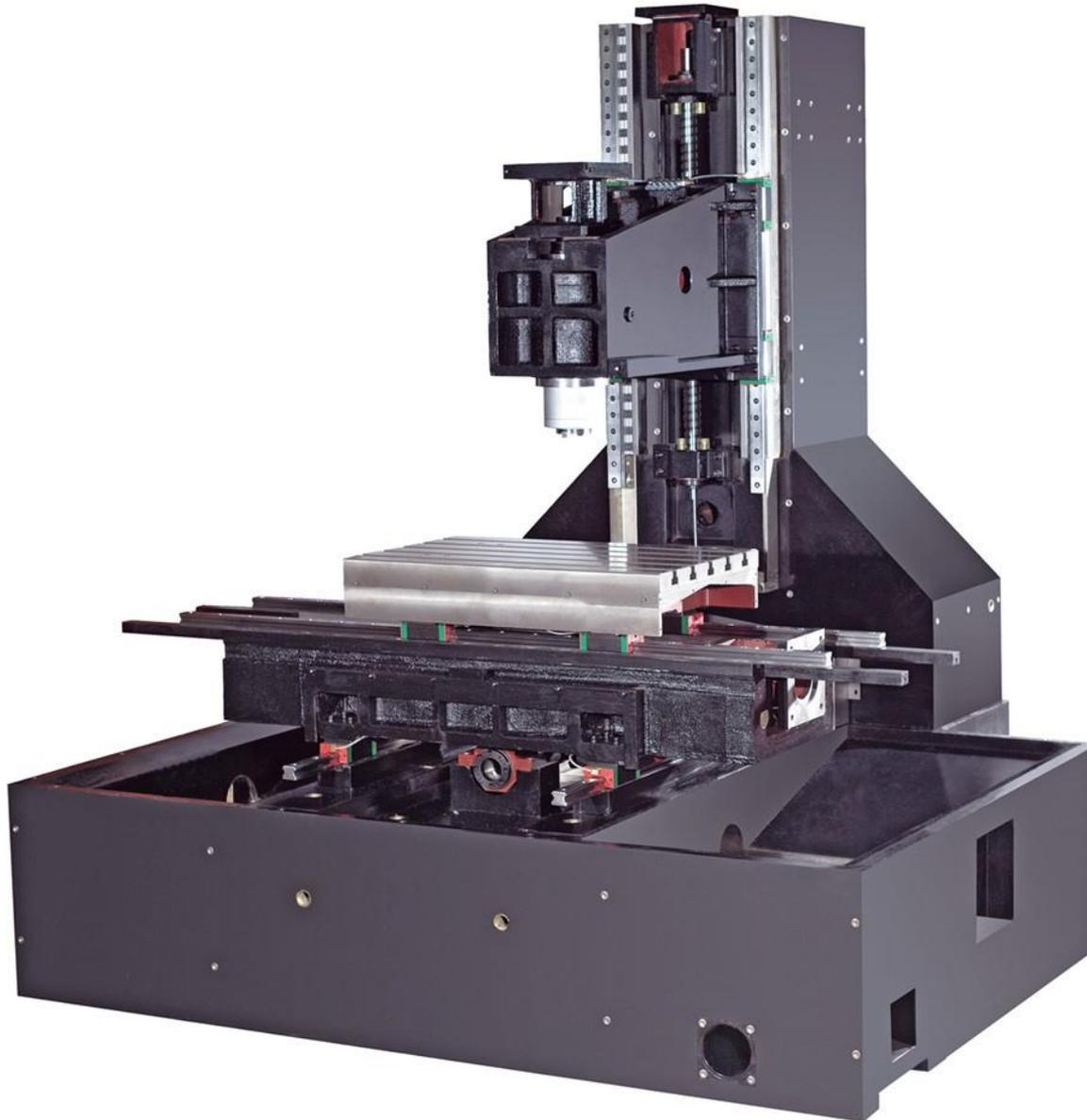
Alcuni aspetti negativi sono costituiti da:

- Difficoltà ad effettuare post-lavorazioni.
- Possibile presenza di fenomeni di creep.
- Modulo elastico e resistenza meccanica più bassi dei corrispondenti elementi realizzati in ghisa.

# Criteria for the design of a MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Materials



# Criteria for the design of a MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Materials



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

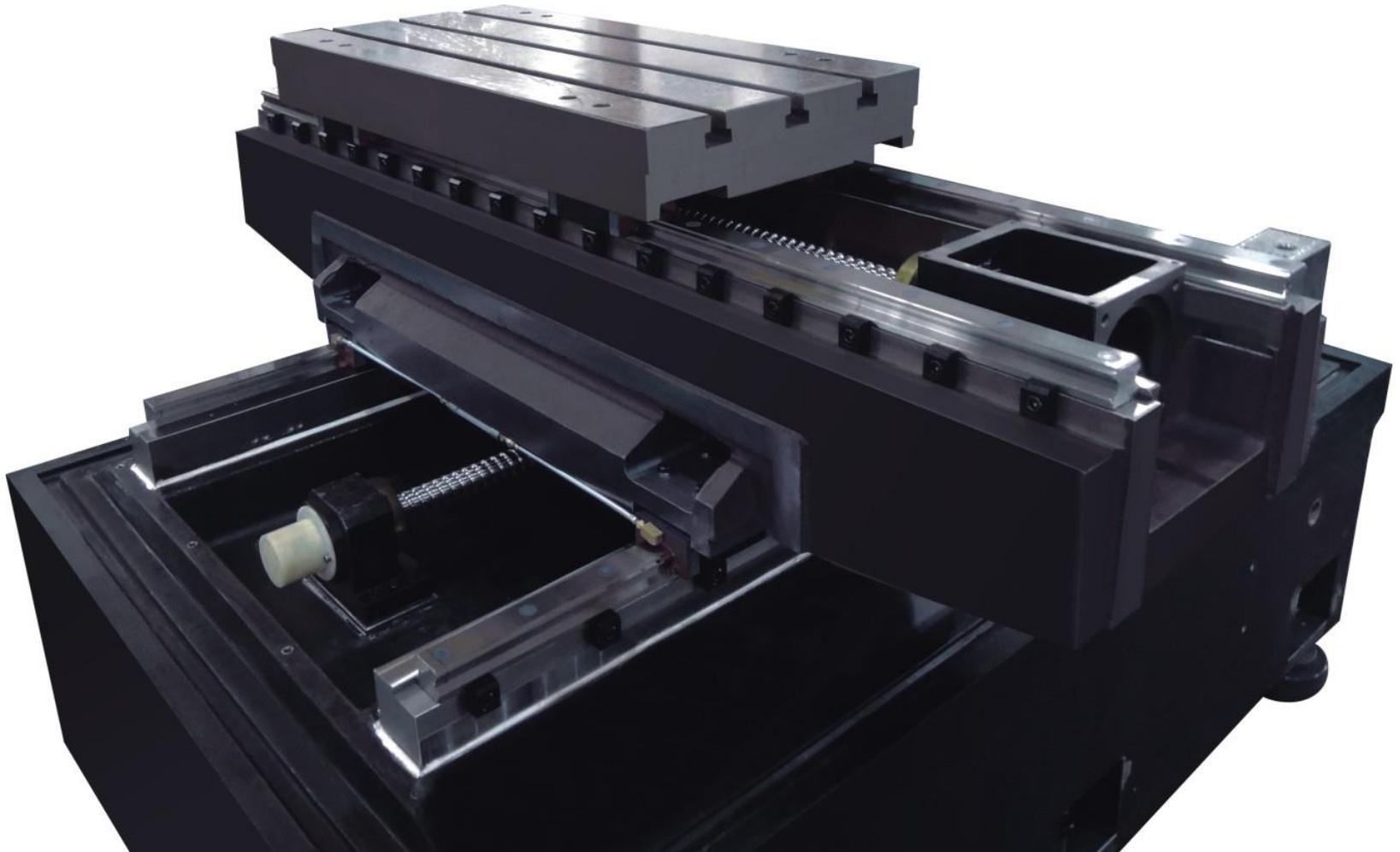
## Materiali



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

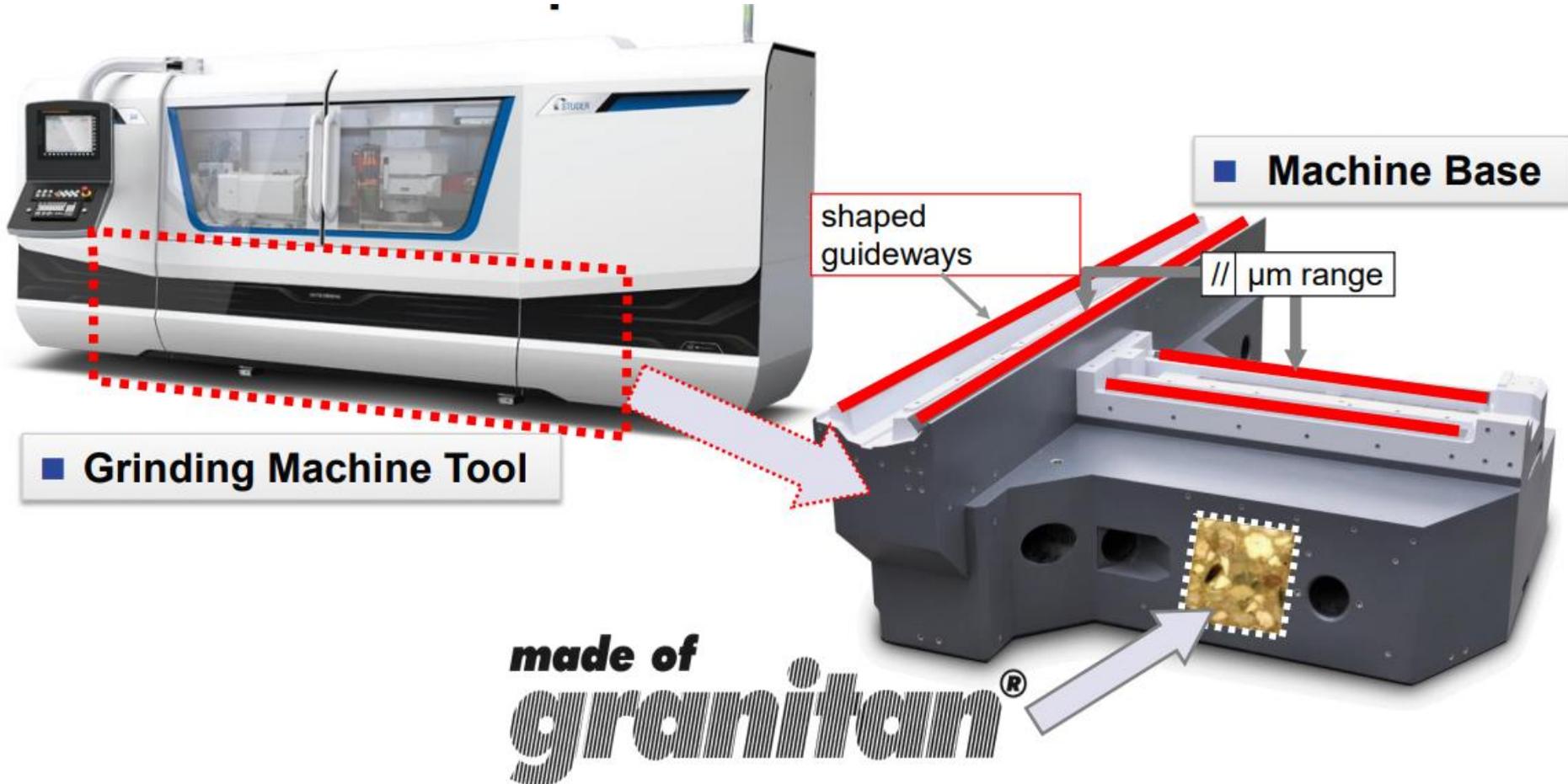
## Materiali



# Criteria for the design of a MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Materials



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

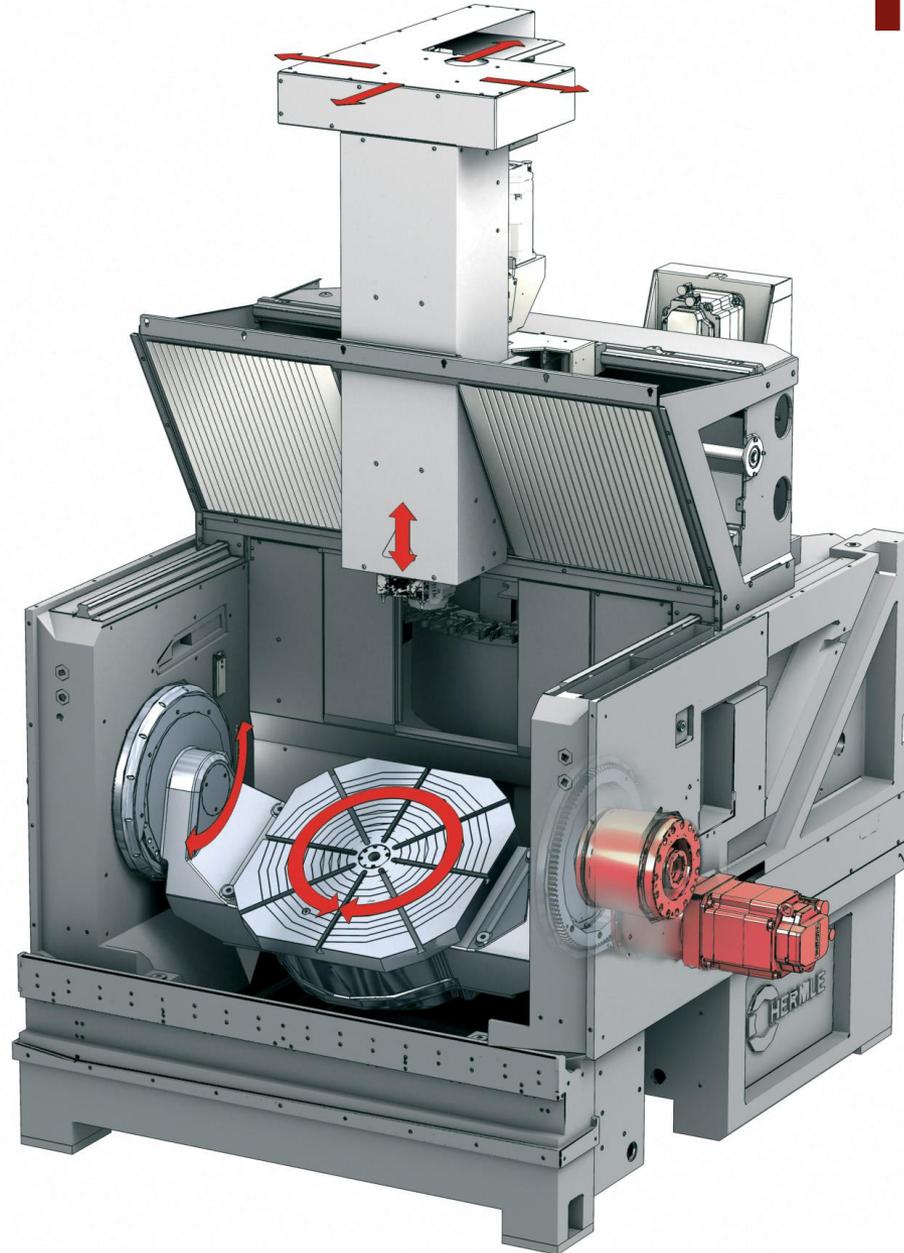
## Materiali



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuur – [nscuur@units.it](mailto:nscuur@units.it)

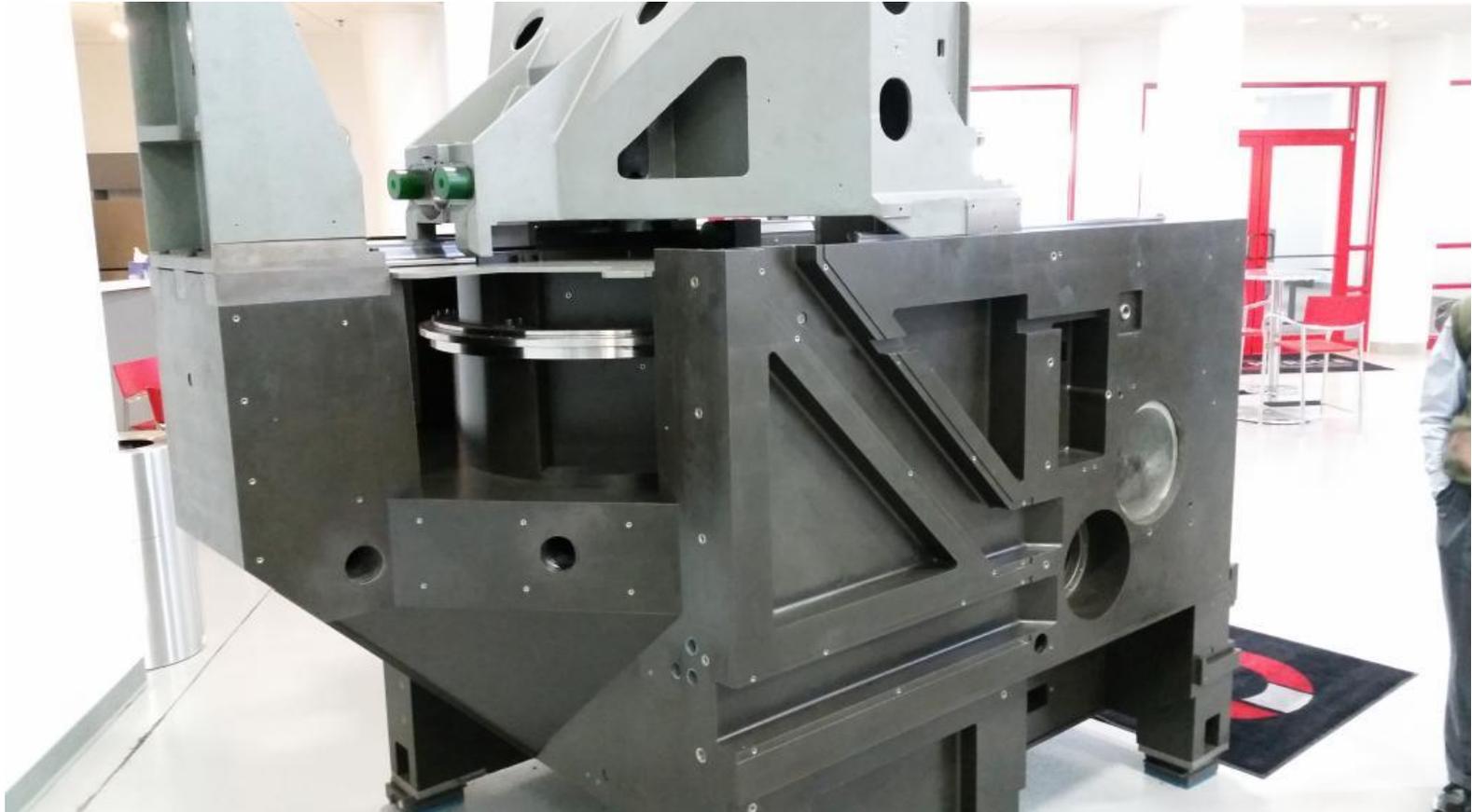
## Materiali



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Materiali



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)



## Materiali

Come alternativa all'impiego di resina epossidica nei materiali compositi utilizzati per la realizzazione di strutture basate sulla tecnologia mineral casting, è possibile utilizzare il cemento.

Il materiale risultante è, quindi, semplicemente un calcestruzzo. Come noto, questa tipologia di materiale presenta alcuni problemi:

- Per rendere l'impasto sufficientemente fluido, è necessario utilizzare quantità di acqua nella miscela superiori alla quantità necessaria per i processi di idratazione.
- Il materiale finito presenta, conseguentemente, un'elevata porosità, fenomeni di ritiro e fessurazioni.
- La presenza di porosità rende il materiale più igroscopico.
- L'impiego di miscele di inerti ottimizzate dal punto di vista del fill factor rende il materiale difficilmente lavorabile, a causa dell'elevata viscosità dell'impasto.

I vantaggi nell'impiego del cemento sono evidenti: riduzione dei costi e della tossicità delle sostanze chimiche utilizzate, elevato modulo elastico e bassa conducibilità termica, riciclabilità dei manufatti, ecc.

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)



## Materiali

Per risolvere i problemi evidenziati, sono stati sviluppati dei calcestruzzi speciali, basati sull'impiego di cementi ad alte prestazioni, denominati UHPC (Ultra High Performance Concrete), ed all'utilizzo, in fase di betonaggio, di sostanze superplasticizzanti.

Il meccanismo di funzionamento dei superplasticizzanti è basato su un principio di separazione e mutua repulsione tra le singole particelle di cemento, fatto che implica l'eliminazione del fenomeno di clustering ed una conseguente riduzione dell'attrito tra particelle. Macroscopicamente, ciò si manifesta in una fortissima riduzione della viscosità dell'impasto, anche se la quantità di acqua utilizzata è molto vicina a quella teorica.

Il risultato finale è l'ottimizzazione delle caratteristiche microstrutturali del calcestruzzo (che può essere utilizzato anche senza rinforzi metallici), un'elevata capacità di auto-costipazione e di auto-livellamento, anche in assenza di vibratura, ed –in ultima analisi- un drastico miglioramento della lavorabilità e delle proprietà meccaniche del prodotto finito.

# Criteria for the design of a MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Materiali

Characteristic	Nanodur <sup>®</sup> -concrete E45	Design value E45	Nanodur <sup>®</sup> -concrete E80	Design value E80
Compressive strength $f_{cm}$	> 125 MPa	$\sigma_{adm} = 40$ MPa	> 150 MPa	$\sigma_{adm} = 40$ MPa
Flexural tensile strength $f_{ctm}$	15 Mpa	$\sigma_{adm} = 5$ Mpa	20 Mpa	$\sigma_{adm} = 5$ Mpa
Centric tensile strength	-	$\sigma_{adm} = 3$ Mpa	-	$\sigma_{adm} = 3$ Mpa
Static modulus of elasticity $E_c$	46,500 MPa	45,000 Mpa	84,500 MPa	80,000 Mpa
Dyn. modulus of elasticity E	55,600 Mpa	-	89,600 Mpa	-
Poisson's ratio $\mu$	0.19 [-]	0.20 [-]	-	0.20 [-]
Density hardened concrete $\rho_c$	2,480 kg/m <sup>3</sup>	2.5 tons/m <sup>3</sup>	2,790 kg/m <sup>3</sup>	2.8 tons/m <sup>3</sup>
Specific thermal capacity $c_p$	1.2 J/gK	1.2 J/gK	0.85 J/gK	0.85 J/gK
Thermal conductivity $\lambda$	3.0 W/mK	3.0 W/mK	6.0 W/mK	6.0 W/mK
Thermal expansion $\alpha_T$	$12.0 \cdot 10^{-6}$ [1/K]	$12.0 \cdot 10^{-6}$ [1/K]	$7.0 \cdot 10^{-6}$ [1/K]	$7.0 \cdot 10^{-6}$ [1/K]

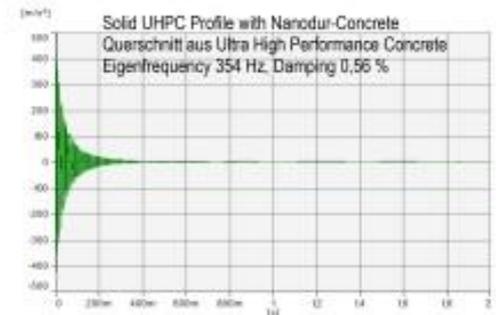
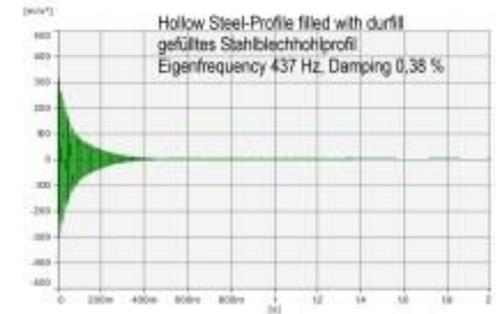
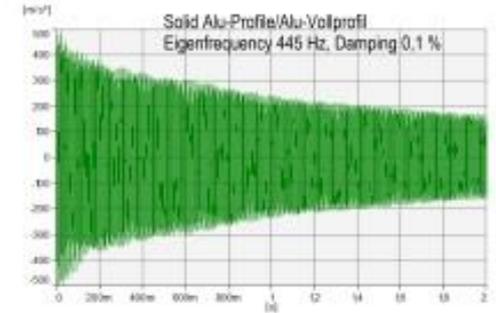
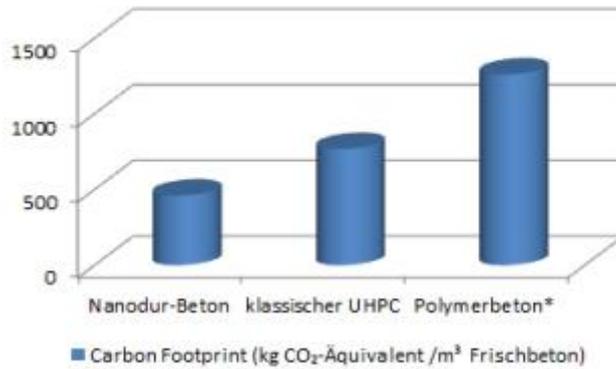
Material	Log. damping decrement $\Lambda$	Damping ratio D [%]
Nanodur Beton E45	0.030	0.50
Nanodur Beton E80	0.021	0.33

# Criteria for the design of a MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Materials

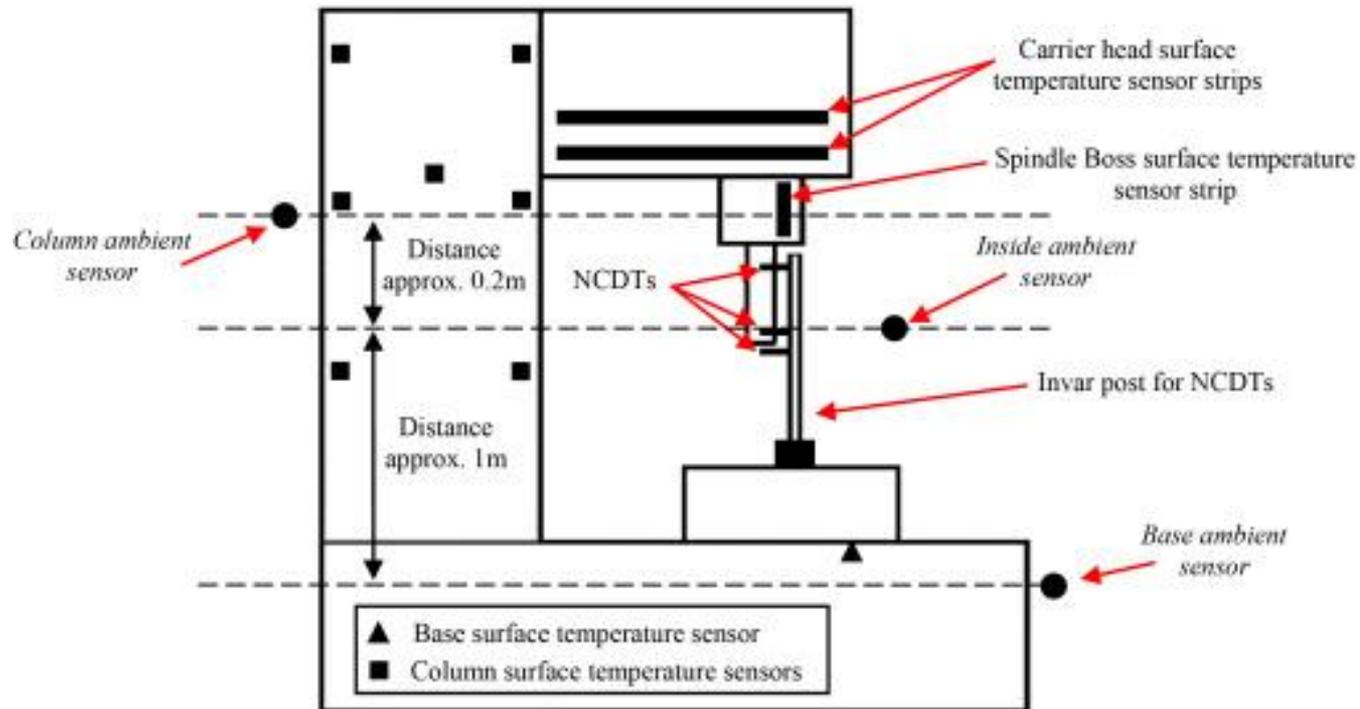
### Carbon Footprint



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

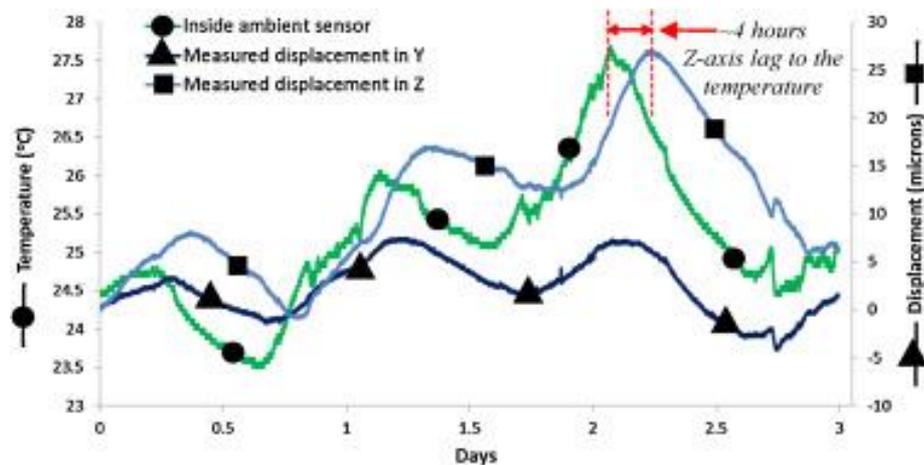
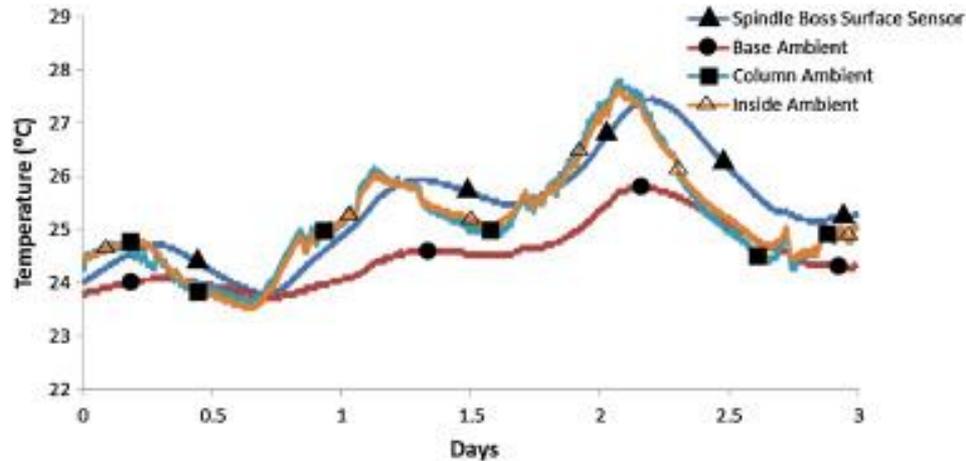
## Il problema termico



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Il problema termico



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)



## Guide

In un CDL, le guide hanno lo scopo di far sì che l'utensile si muova secondo una traiettoria predefinita rispetto al pezzo in lavorazione.

Le guide lineari possono essere di vario tipo. In particolare, nei CLD si trovano generalmente i seguenti tipi di guide:

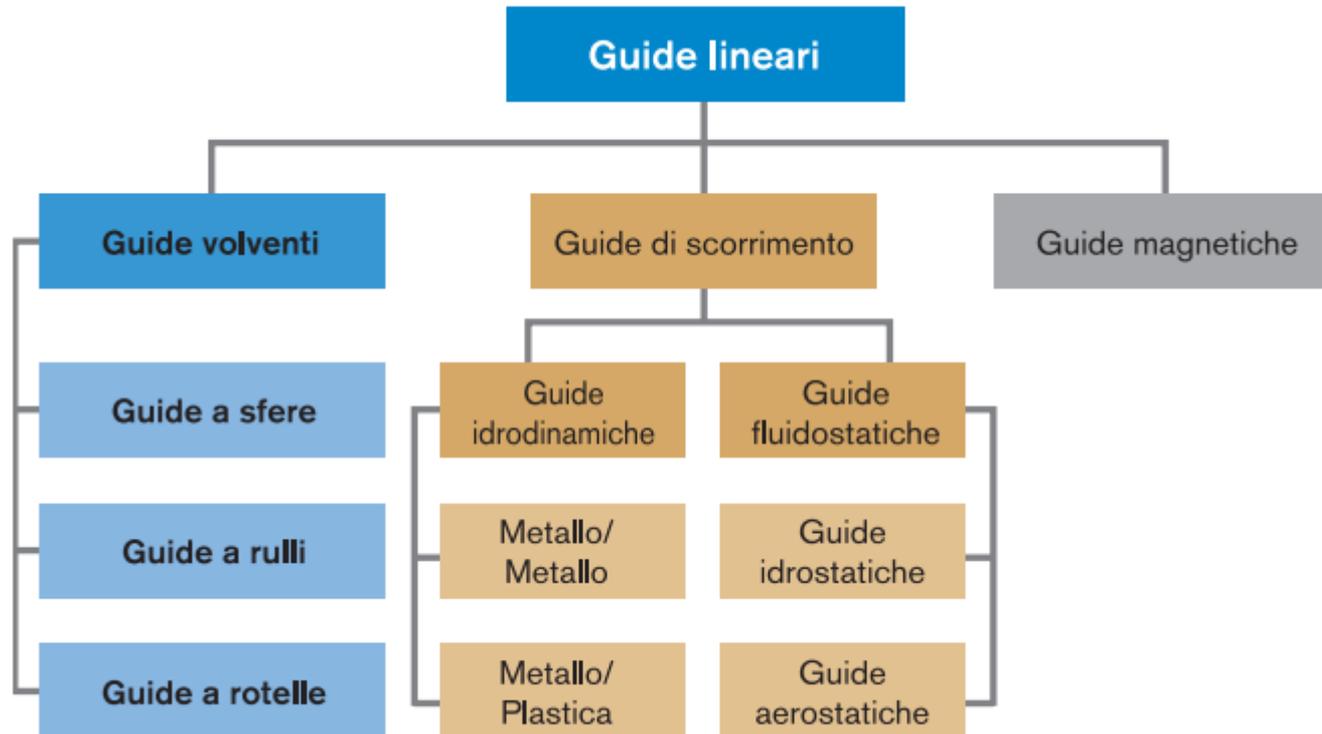
1. Guide piane a contatto.
2. Guide ad elementi volventi.
3. Guide a sostentamento idrodinamico o aerodinamico.
4. Guide a sostentamento magnetico.

Le categorie 1 e 2 sono largamente utilizzate nei moderni CDL, mentre le categorie 3 e 4 sono riservate a macchine di altissima precisione o a macchine di tipo sperimentale.

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

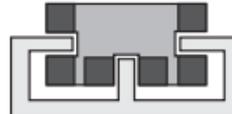
## Guide



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

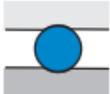
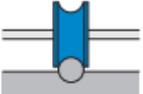
## Guide

Guide lineari		Principio di funzionamento	
Guide volventi	Guide a sfera		Tra le parti fisse e quelle mobili di una macchina si trovano le sfere.
	Guide a rulli		Tra le parti fisse e quelle mobili di una macchina si trovano i rulli.
	Guide a rotelle		Tra le parti fisse e quelle mobili di una macchina si trovano le rotelle sorrette da cuscinetti a sfere
Guide di scorrimento idrodinamiche	Metallo/Metallo		Entrambe le parti della macchina vengono a contatto in posizione di arresto. Con l'inizio del movimento si crea gradualmente uno strato di lubrificante tra le parti mobili e quelle fisse. La separazione completa tra le parti mobili e fisse della macchina tramite lo strato di lubrificante avviene solo in presenza di elevate velocità di scorrimento.
	Metallo/plastica		Il principio di funzionamento è il medesimo che si riscontra nel caso di materiale metallo/metallo. La coppia di materiali metallo/plastica riduce l'attrito all'inizio del movimento fino a quando non si giunge alla formazione di uno strato uniforme di lubrificante.
Guide di scorrimento fluidostatiche	Guida idrostatica		Una pompa fornisce del lubrificante liquido nella guida. La componente mobile della macchina si solleva. Tra le parti mobili e quelle fisse della macchina si trova uno strato di lubrificante sotto pressione.
	Guida aerostatica		Un compressore fornisce aria compressa nella guida. Le parti fisse e quelle mobili della macchina vengono separate dall'aria compressa.
Guide magnetiche			Le parti mobili e quelle fisse della macchina vengono separate per mezzo di una forza magnetica. La componente mobile della macchina "fluttua" e di conseguenza la guida sarà senza contatto.

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Guide

Proprietà	Guide volventi			Guide a scorrimento idrodinamiche		Guide a scorrimento fluidostatiche		Guida magnetica
	Guide a sfere	Guide a rulli	Guide a rotelle	Metallo/metallo	Metallo/plastica	Guida idrostatica	Guida aerostatica	Sospensione magnetica
								
Carico	+++	+++	++	+++	+++	+++	o	+++
Rigidezza	++	+++	+	+++	++	+++	o	+
Precisione	++	++	++	+	+	++	++	+++
Scorrevolezza	++	++	++	+	+	+++	+++	+++
Velocità	+++	+++	+++	+	+	+++	+++	+++
Capacità ammortizzanti	+	+	+	+++	+++	+++	+++	+++
Sicurezza di funzionamento	+++	+++	+++	+++	+++	+	+	+
Standardizzazione	+++	+++	+++	+	+	o	o	o
Durata a fatica	++	++	++	++	++	+++	+++	+++
Costi	++	++	++	+++	+++	+	+	o

+++ Ottimo  
++ Buono

+ Discreto  
o Sufficiente

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Guide piane a contatto

In questa tipologia di guide, l'elemento fisso e quello mobile sono posti a contatto: siamo quindi in presenza di condizioni di attrito radente. Spesso, per ridurre il coefficiente d'attrito dinamico, questo tipo di guide viene lubrificato mediante interposizione, tra le superfici prospicienti, di un sottile velo d'olio.

- I principali vantaggi delle guide piane sono:
- Alta capacità di carico.
- Elevata rigidità.
- Alta capacità di smorzamento delle vibrazioni.
- Basso profilo.

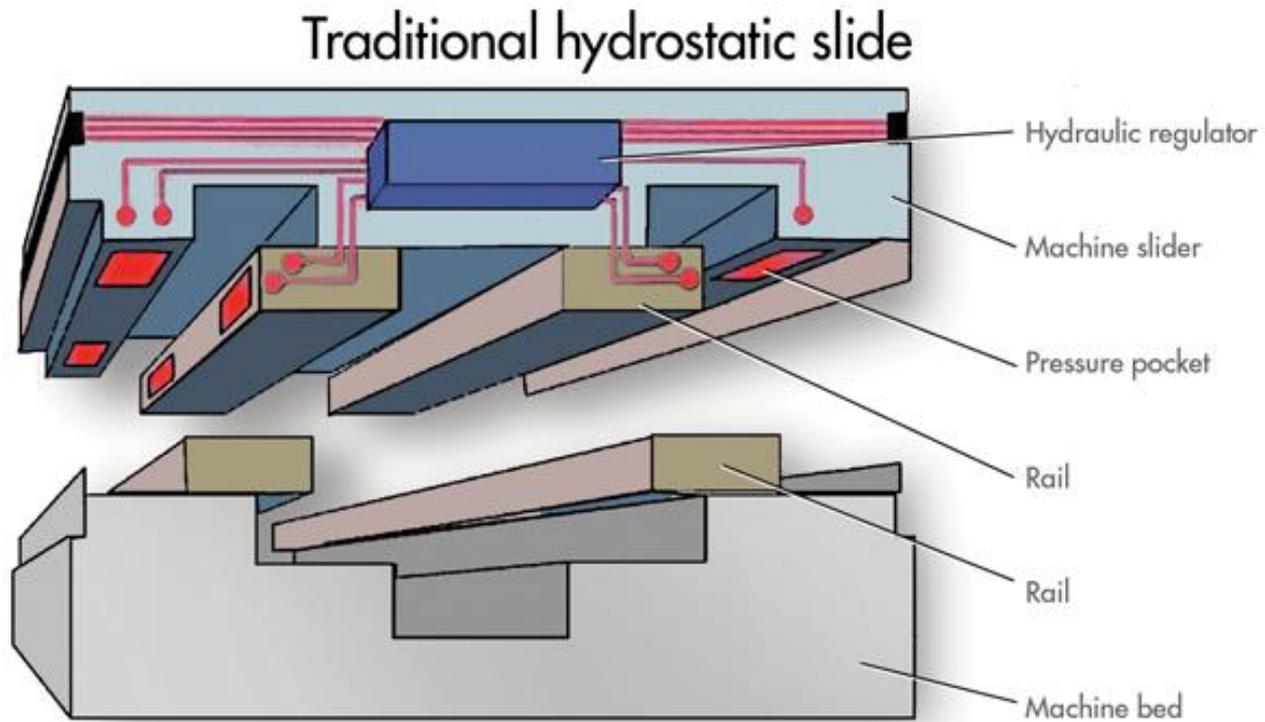
Per contro, le guide piane soffrono di una serie di limitazioni

- Elevato valore del coefficiente d'attrito ed elevata differenza tra il valore del coefficiente d'attrito statico e quello dinamico.
- Variazione dei coefficienti d'attrito in funzione delle condizioni esterne (carichi).
- Problemi ad operare a velocità di spostamento molto basse o molto elevate.
- Ripetibilità di posizionamento modesta.
- Difficoltà nel prevedere la vita utile.
- Necessità di frequenti interventi di manutenzione.

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuur – [nscuur@units.it](mailto:nscuur@units.it)

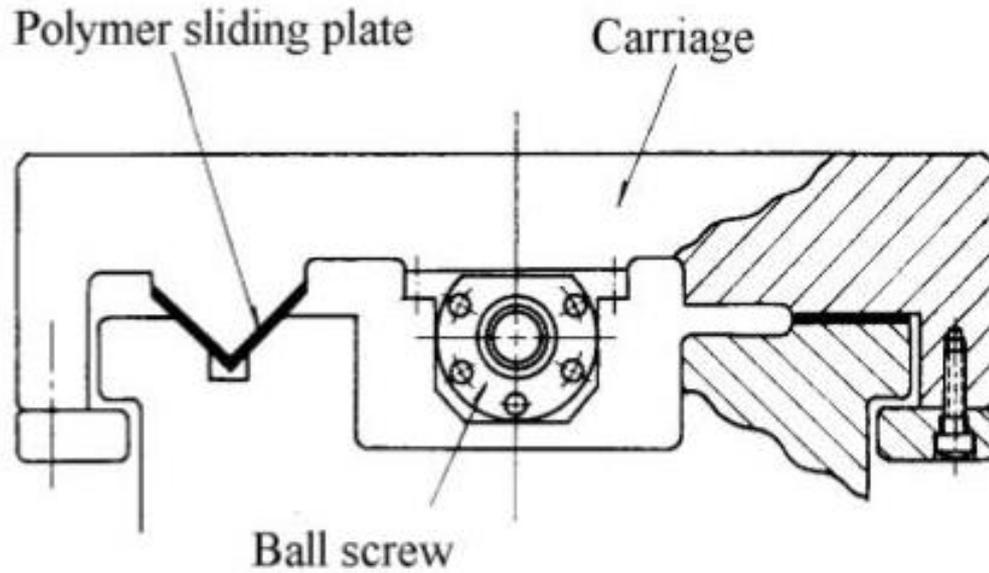
## Guide piane a contatto



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Guide piane a contatto



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuur – [nscuur@units.it](mailto:nscuur@units.it)

## Guide piane a contatto

Guide a coda di rondine (dovetail), con lardoni.

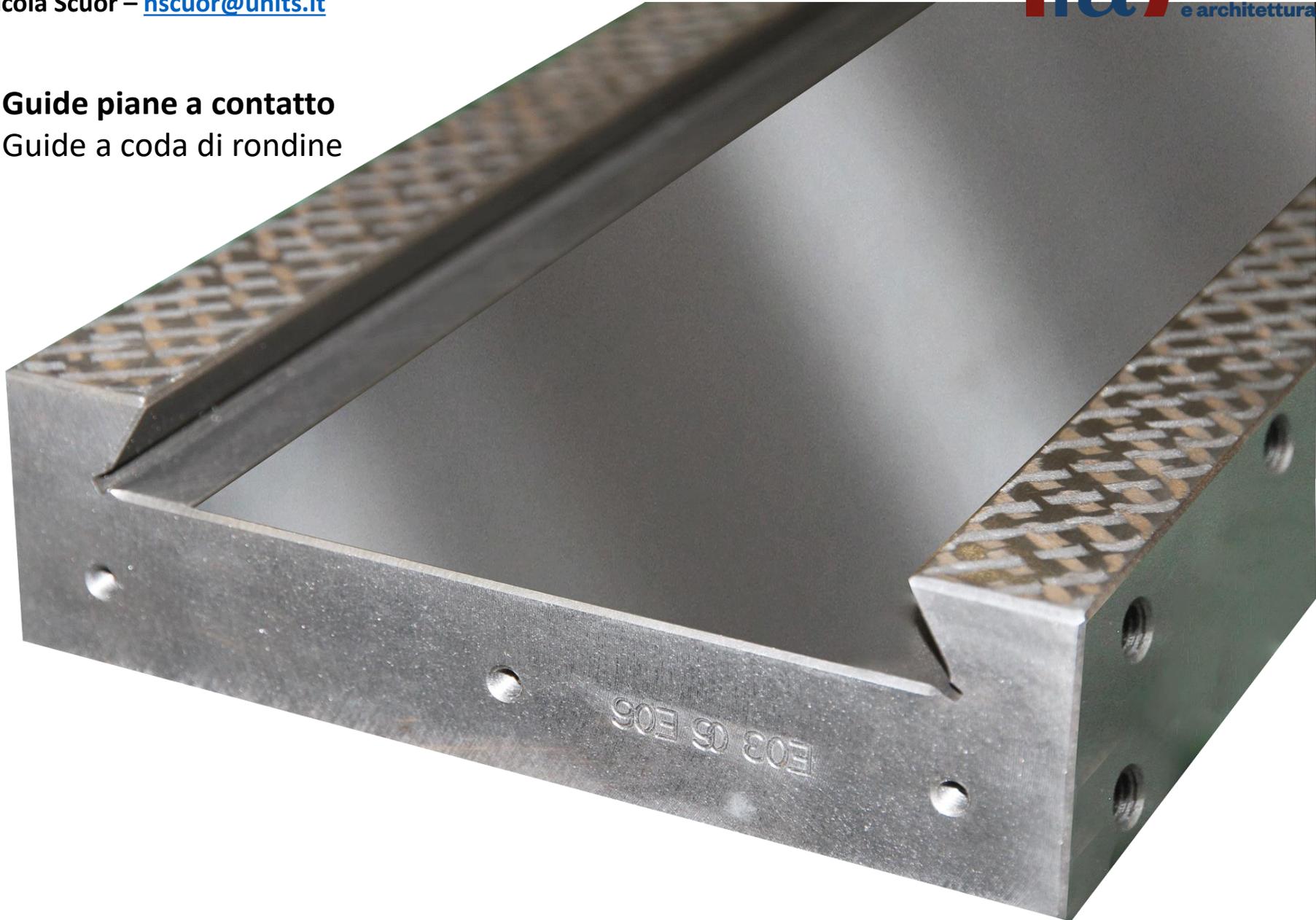


# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

**Guide piane a contatto**

Guide a coda di rondine



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Guide piane a contatto

Lardone (gib)

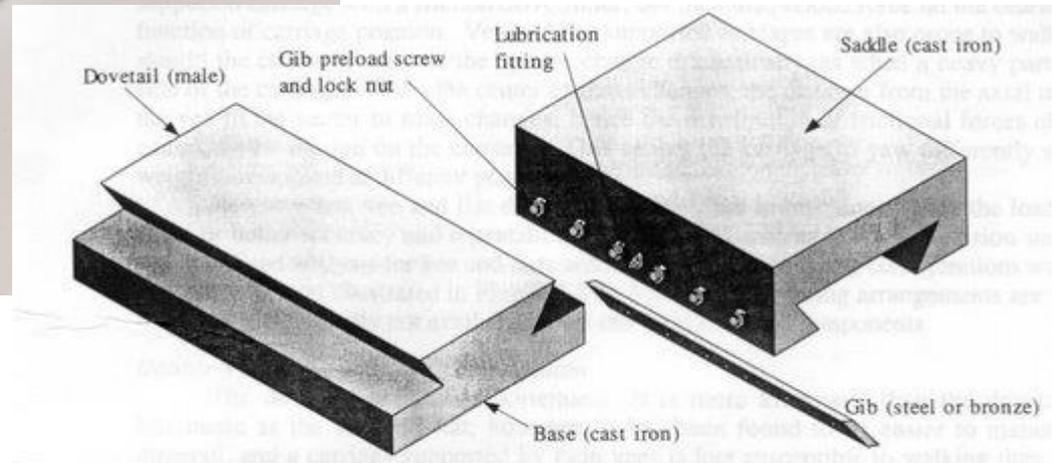
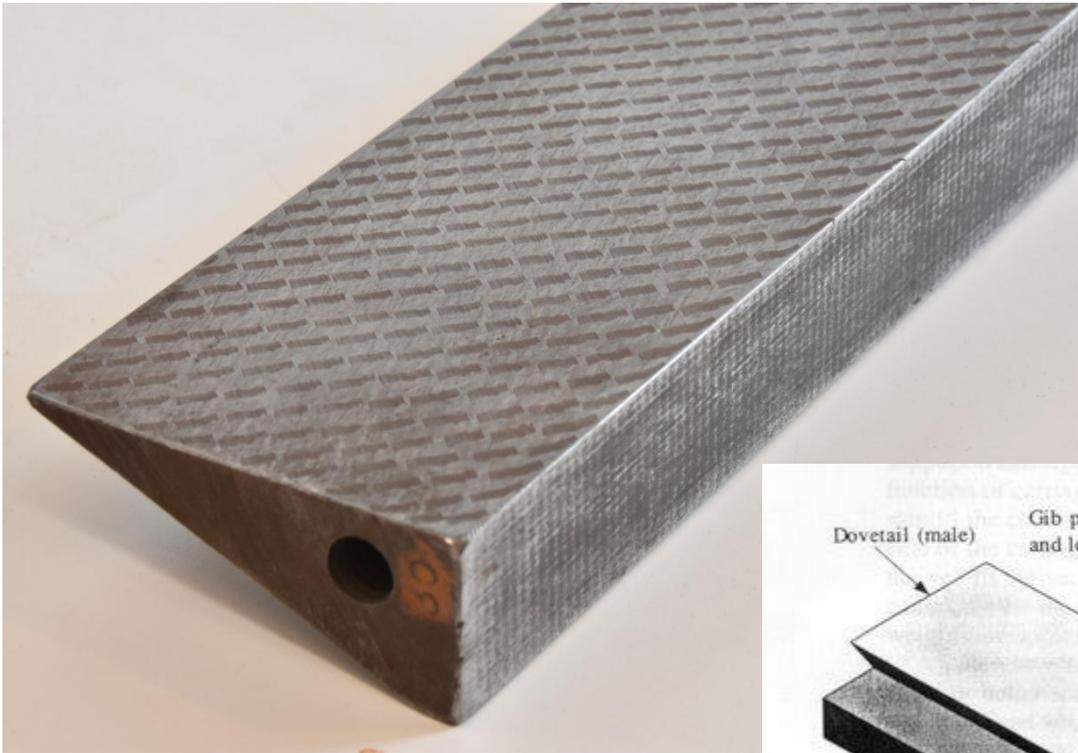


Figure 2-3. Dovetail Box Way

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)



## Guide piane a contatto

Spesso le guide piane vengono rifinite mediante raschiatura, una delle ultime lavorazioni eseguite manualmente.

- La raschiatura consente di:
- Ottimizzare l'accuratezza (allineamento) e la planarità delle guide.
- Realizzare una finitura in grado di trattenere l'olio lubrificante.
- Migliorare l'estetica dei componenti.

Si noti che due superfici troppo «piatte» possono generare fenomeni di incollaggio quando vengono poste a contatto, per cui non sono indicate per il tipo di applicazioni considerato.

Nelle guide piane raschiate possono essere ricavate opportune canalizzazioni per distribuire su tutta la superficie della guida l'olio lubrificante. Quest'ultimo viene pompato all'interno della guida, periodicamente, mediante un opportuno sistema oleodinamico.

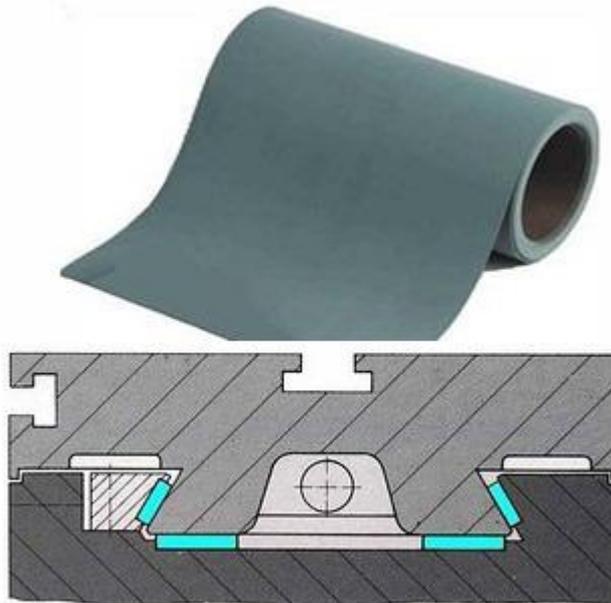
# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Guide piane a contatto

Le guide planari possono essere guarnite con materiali a basso coefficiente di attrito (ad es. Turcite). Tali materiali vengono in genere incollati, mediante adesivi epossidici, sulle parti mobili delle guide lineari.

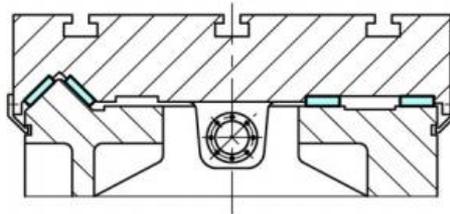
La turcite può essere lavorata alla macchina utensile (ad es. rettificata), ed anche raschiata.



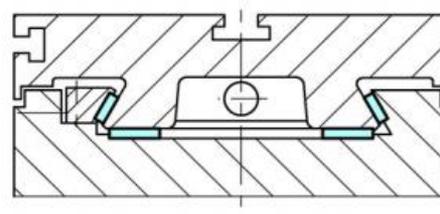
# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

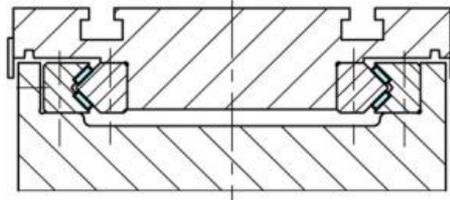
## Guide piane a contatto



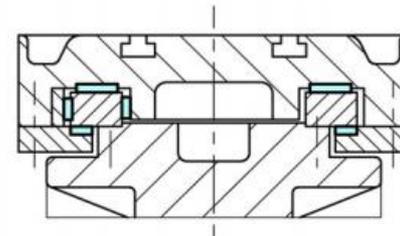
Flat tapered Guideway



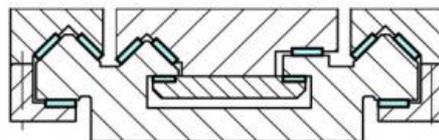
Dovetail Guideway



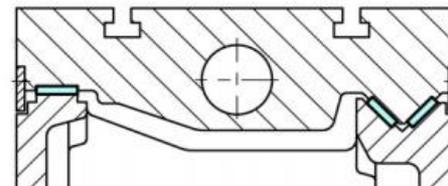
V-Guideway



Flat Guideway



Double V-Guideway



Flat V-Guideway

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)



## **Guide piane a contatto**

Sono disponibili in commercio anche prodotti allo stato liquido (resine epossidiche caricate) utilizzabili per realizzare superfici di contatto in guide lineari.

Ad esempio, un prodotto commerciale largamente diffuso è il Moglice. Si tratta di un sistema bicomponente colabile, iniettabile e spatolabile, che può essere utilizzato per la realizzazione e la riparazione di guide lineari.

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Guide ad elementi volventi

Tra le guide ad elementi volventi, le più diffuse sono:

- I manicotti a ricircolo di sfere.
- Le guide a pattini a ricircolo di sfere.
- Le guide a pattini a ricircolo di rulli.

I manicotti a ricircolo di sfere vengono in genere utilizzati in applicazioni leggere e sono in grado di lavorare in accoppiamento con un albero temprato e rettificato.



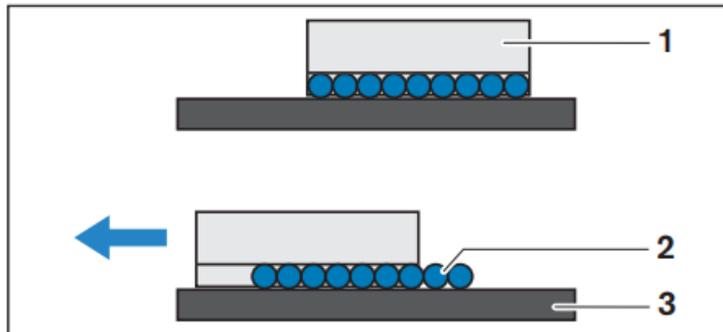
# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

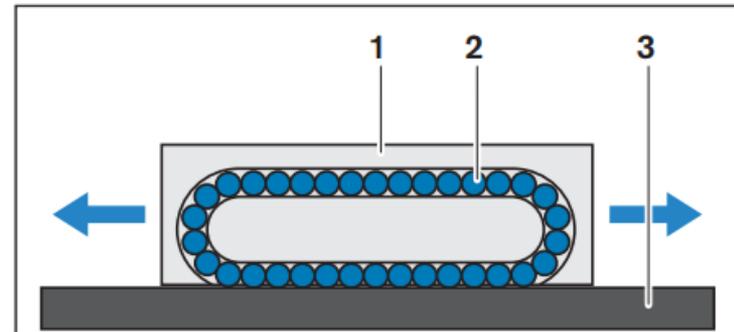
## Guide ad elementi volventi

Le guide lineari con pattini a ricircolo di sfere sono utilizzate in applicazioni medio/pesanti ove sia richiesta:

- Elevata precisione e ripetibilità di posizionamento, anche a basse velocità.
- Elevate velocità di spostamento.
- Minimizzazione delle forze di attrito.
- Elevata rigidezza.
- Elevata affidabilità.
- Possibilità di prevedere la vita utile dei componenti utilizzati.



Guida volvente senza ricircolo dei corpi volventi



Guida volvente con ricircolo dei corpi volventi

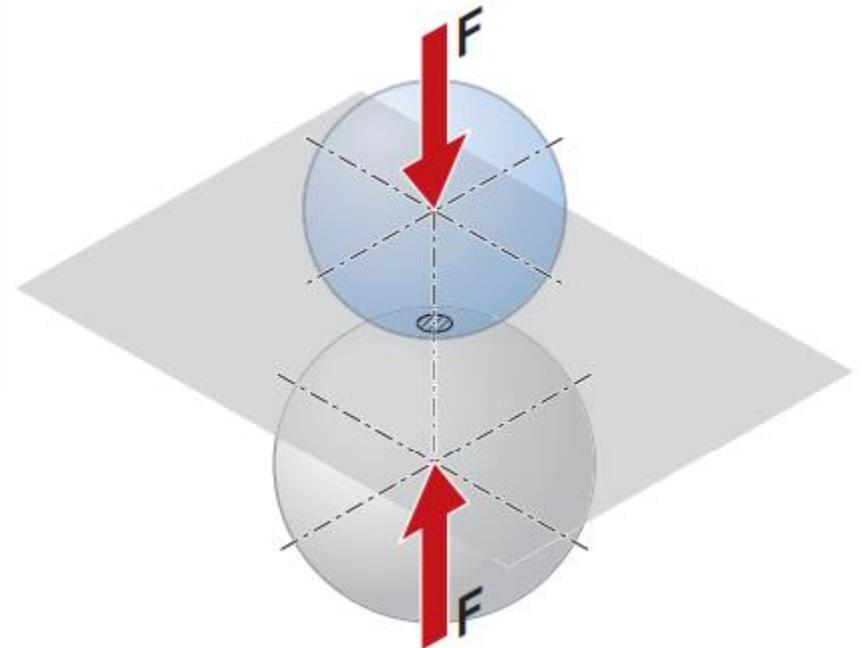
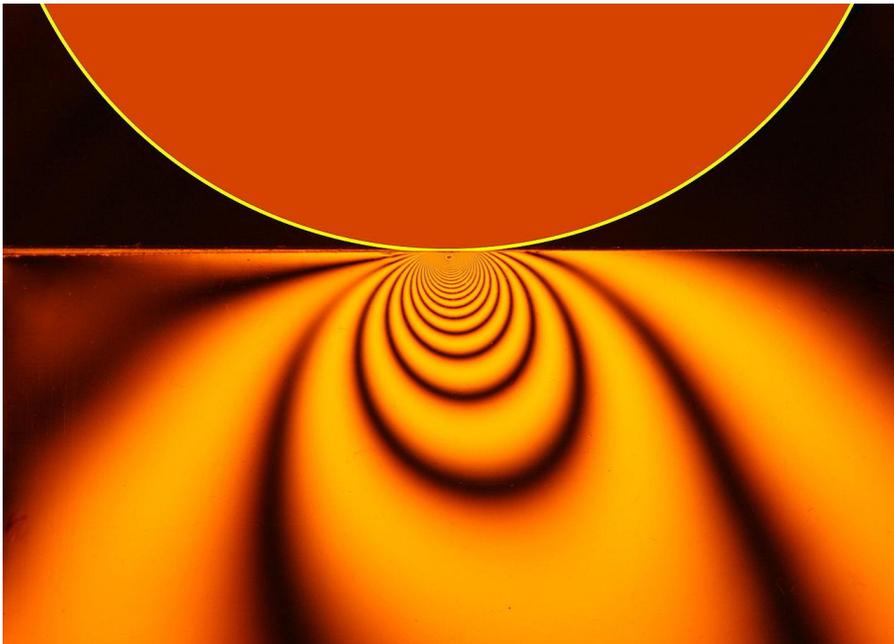
# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Guide ad elementi volventi

Il contatto volvente tra sfere può essere modellizzato utilizzando la teoria di Hertz.

La teoria di Hertz descrive il comportamento di due corpi aventi superfici curve, posti a contatto sotto l'azione di una forza  $F$ . Tale teoria permette di prevedere le deformazioni elastiche, la dimensione della superficie di contatto, la distribuzione degli sforzi nei due corpi e la pressione massima di contatto.



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)



## Guide ad elementi volventi

In particolare, può essere studiata una sfera che indenta un semipiano elastico, nelle seguenti ipotesi:

- solidi elastici, omogenei, isotropi,
- superfici lisce,
- raggi di curvatura grandi rispetto alla superfici poste a contatto,
- tensioni tangenziali di attrito nulle,
- I corpi si deformano elasticamente,
- superfici continue rappresentabili, prima della deformazione, da polinomi del secondo ordine,

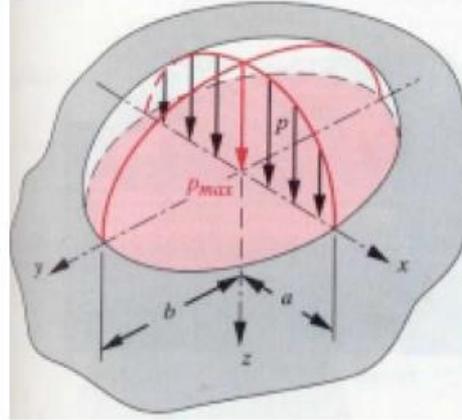
la teoria di Hertz descrive la zona di contatto secondo una superficie del secondo ordine, rappresentata dalla relazione generale:

$$z = Ax^2 + By^2 + Cxy$$

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Guide



- ▶ in questo caso la superficie di contatto è circolare di raggio  $a$
- ▶ la pressione di contatto risulta

$$p(x, y) = p_{max} \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{a^2}} \quad p_{max} = \frac{3F}{2\pi a^2}$$

- ▶ la dimensione della superficie di contatto è

$$a = \sqrt[3]{\frac{3F}{8} \frac{(1 - \nu_1^2)/E_1 + (1 - \nu_2^2)/E_2}{\frac{1}{2} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)}}$$

in cui  $R_1$  e  $R_2$  sono i raggi delle sfere a contatto

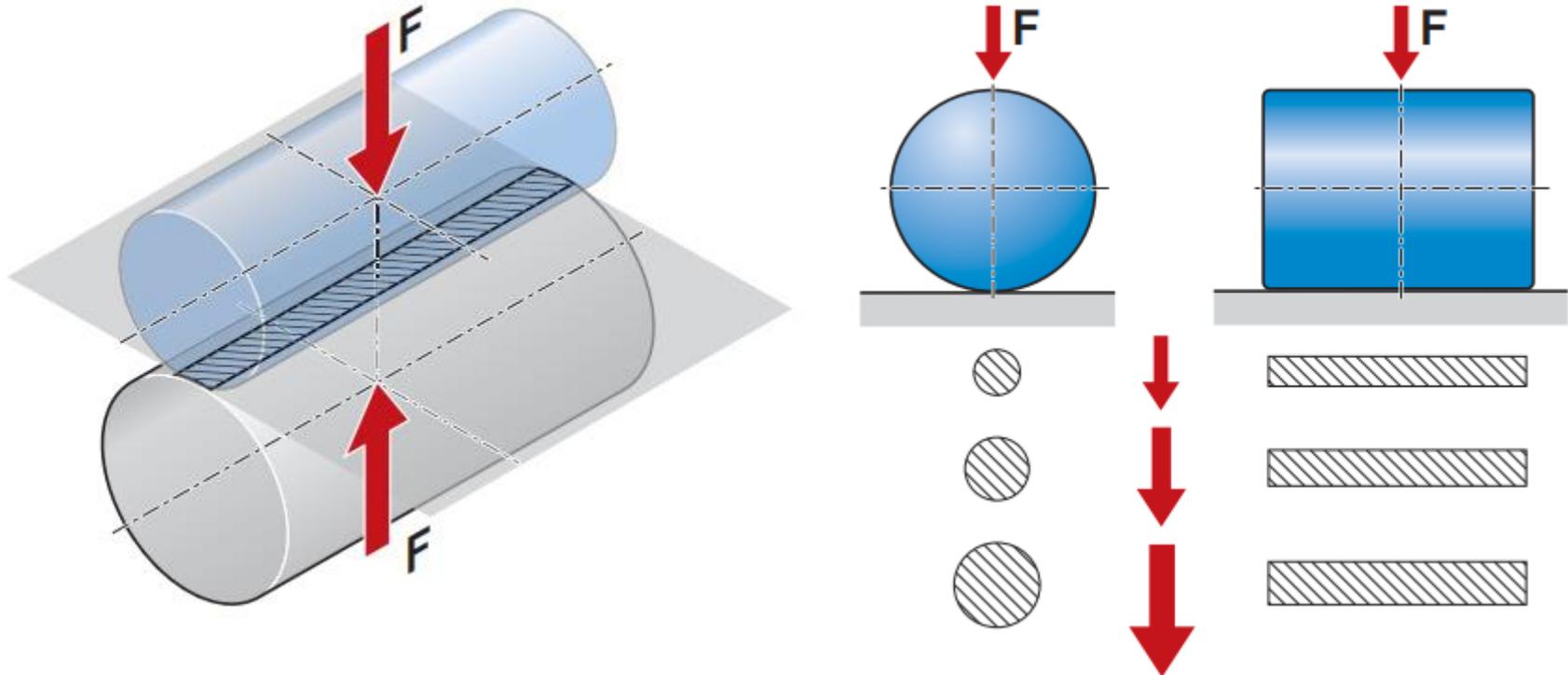
# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Guide ad elementi volventi

Nel caso dei rulli, lo studio del contatto non può essere effettuato utilizzando la teoria di Hertz.

Nel caso dei rulli, l'area di contatto non dipende dal diametro di questi ultimi; scegliendo opportunamente la lunghezza del rullo, a parità di diametro rispetto ad una sfera, la superficie dell'area di contatto può essere maggiore, rendendo un sistema basato sull'impiego di rulli più rigido ed in grado di sostenere carichi maggiori.



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Guide ad elementi volventi

Il contatto volvente sfere-piano ha due problemi:

- presenza di elevate pressioni di contatto.
- Assenza di un sistema di guida della traiettoria della sfera.

Per questo motivo, si utilizzano delle piste profilate, realizzate con un ben definito rapporto di osculazione:

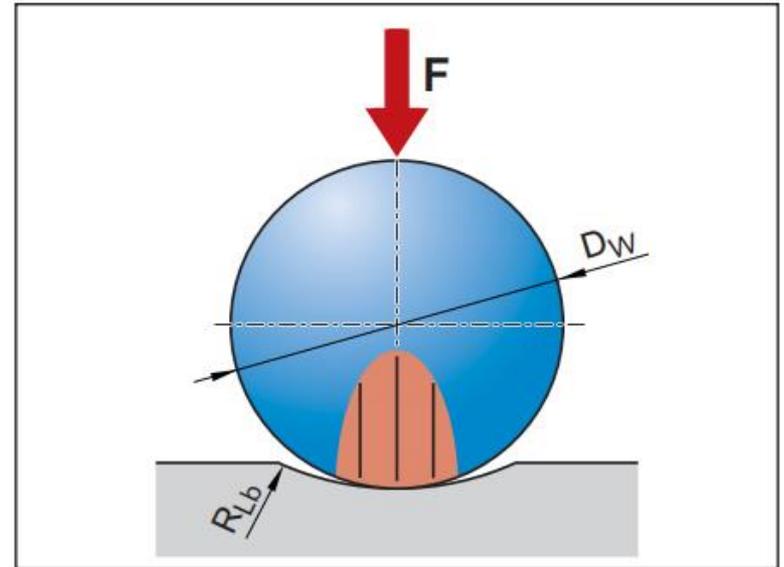
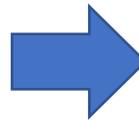
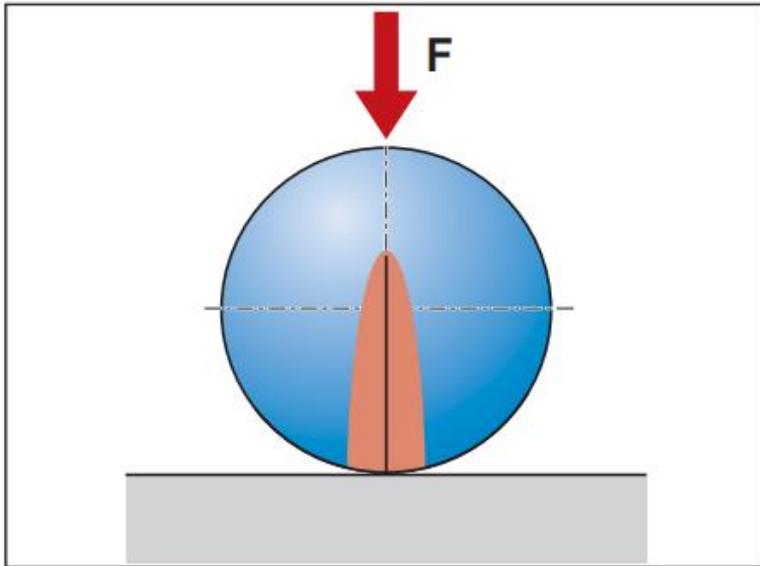
$$\kappa = \frac{R_{Lb}}{D_W} \cdot 100 \%$$

$\kappa$	= rapporto di osculazione	(%)
$R_{Lb}$	= raggio della superficie di rotolamento	(mm)
$D_W$	= Diametro della sfera	(mm)

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Guide ad elementi volventi

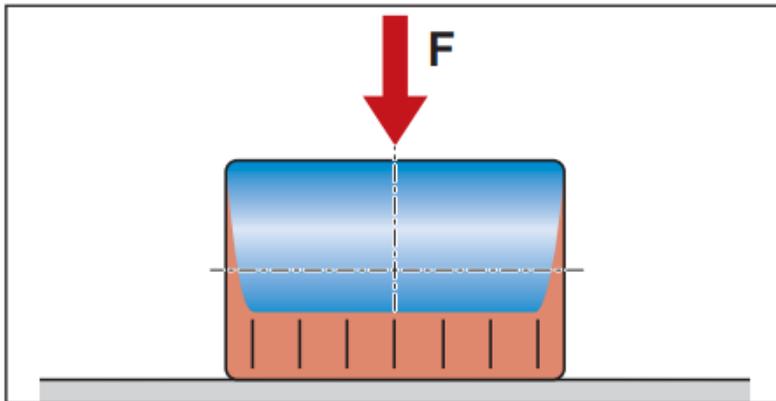


# Criteri per la progettazione di una MU

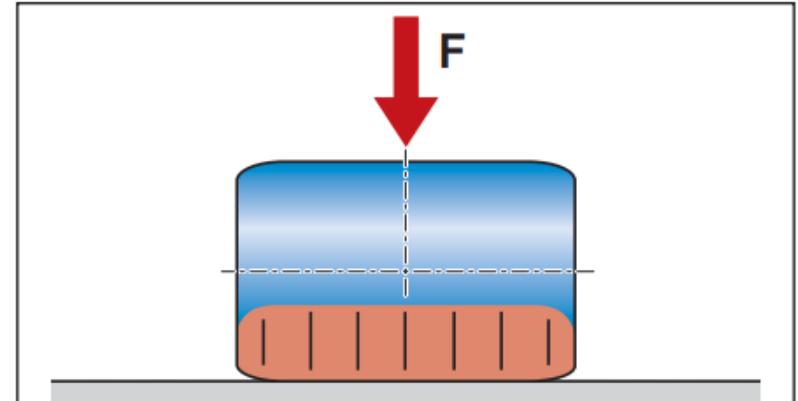
Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Guide ad elementi volventi

Nel caso dei rulli, possono essere utilizzati elementi a profilo logaritmico, allo scopo di ridurre l'entità dei picchi di pressione presenti in corrispondenza delle estremità degli elementi stessi.



Distribuzione della pressione di contatto nei rulli con profilo cilindrico



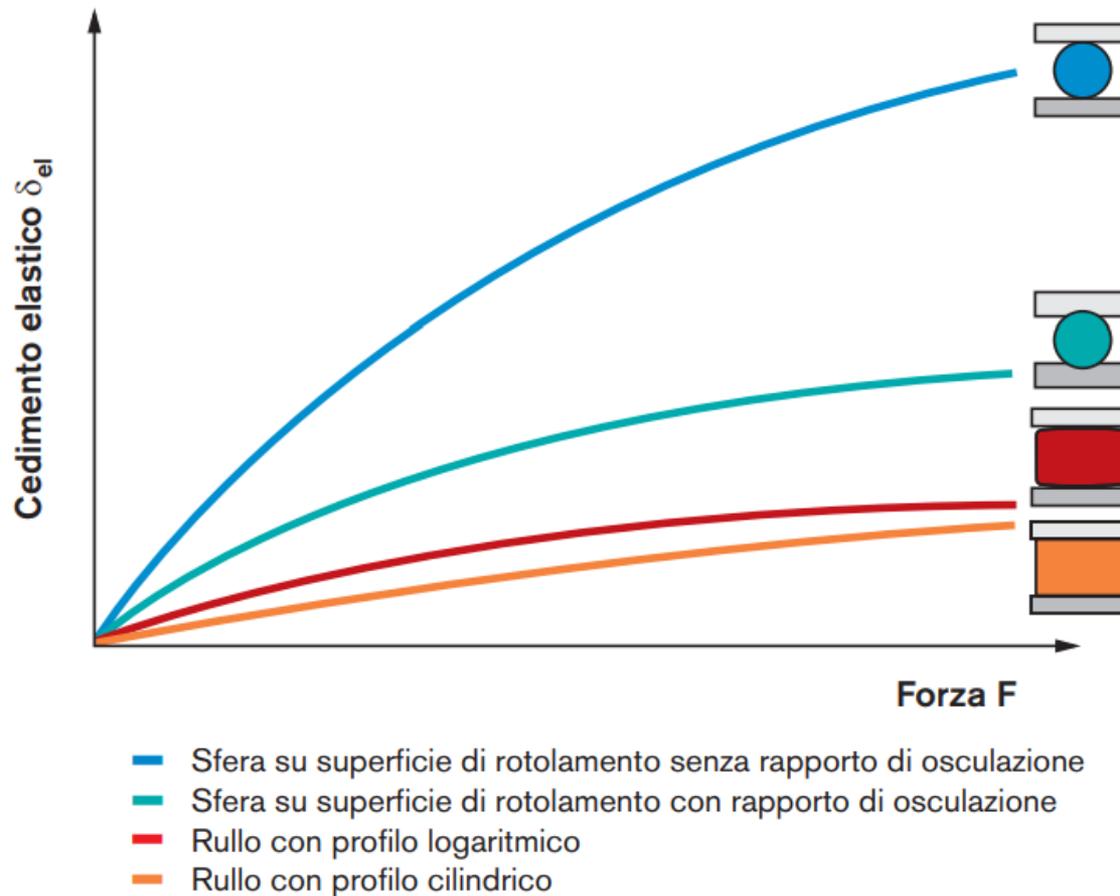
Distribuzione della pressione nei rulli con profilo logaritmico

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Guide ad elementi volventi

Confronto qualitativo del cedimento elastico di sfere e rulli (stesso diametro):

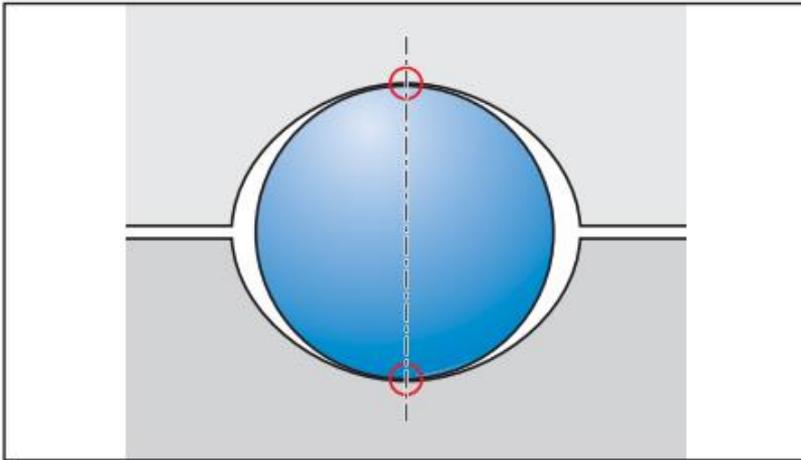


# Criteri per la progettazione di una MU

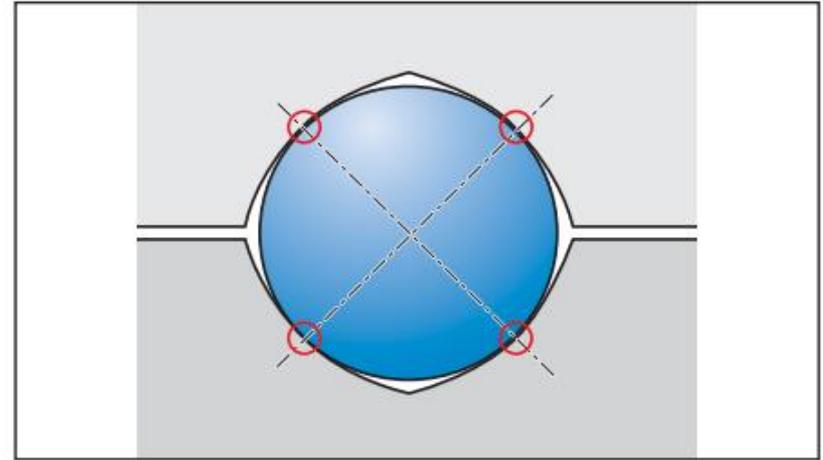
Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Guide ad elementi volventi

Profilo delle piste di rotolamento:



Sede di rotolamento ad arco circolare con due punti di contatto



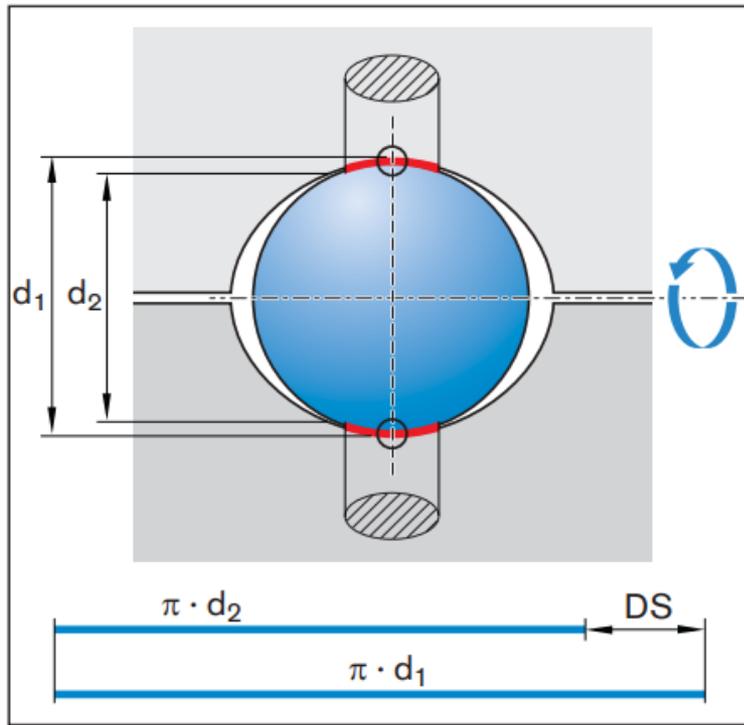
Sede di rotolamento ad arco gotico con quattro punti di contatto

# Criteri per la progettazione di una MU

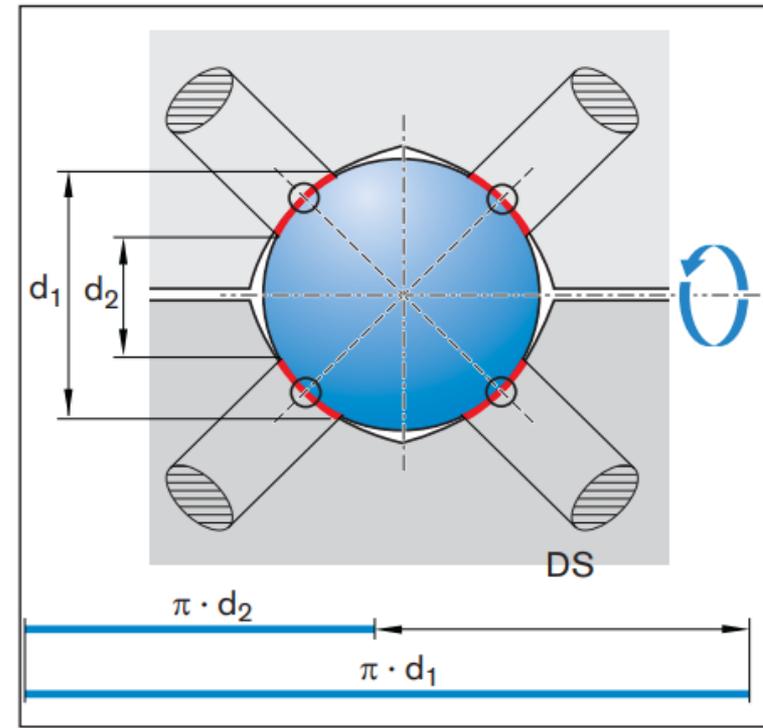
Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Guide ad elementi volventi

La soluzione ad arco permette di ridurre le pressioni massime, grazie alla presenza di quattro punti di contatto. Tuttavia, tale soluzione, rispetto a quella a due punti di contatto, presenta valori di attrito maggiori, causati dallo scorrimento differenziale.



Scorrimento differenziale (DS) nelle sedi di rotolamento ad arco circolare



Scorrimento differenziale (DS) nelle sedi di rotolamento ad arco gotico

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)



## Guide ad elementi volventi

Nel caso in cui sia necessario realizzare soluzioni compatte, il sistema di contatto ad arco gotico è preferibile, perché –a parità di carico-, permette l'impiego di sfere di minori dimensioni.

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Previsione della vita utile (durata a fatica)

Nel caso in cui sia necessario realizzare soluzioni compatte, il sistema di contatto ad arco gotico è preferibile, perché –a parità di carico-, permette l'impiego di sfere di minori dimensioni.

La durata nominale a fatica è la distanza che un pattino a ricircolo di sfere è in grado di percorrere prima che compaiano i primi segni di fatica sulle superfici di rotolamento o sui corpi volventi. Per la previsione di tale durata può essere utilizzato il modello di Lundberg e Palmgren:

$$(2-2) \quad L = \left( \frac{C}{F} \right)^p$$

$p = 3$   
per guide lineari a sfere e per unità viti a sfere  
 $p = 10/3$   
per guide lineari a rulli

- L = Durata nominale a fatica  
(100 km nelle guide lineari o 1 milione di giri nelle unità viti a sfere)
- C = Fattore di carico dinamico (N)
- F = Carico applicato sul componente, e/o somma delle componenti delle forze esterne che agiscono sul componente (N)
- p = Esponente dell'equazione della durata a fatica in funzione del tipo di corpo volvente(-)

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)



## Previsione della vita utile (durata a fatica)

Si definisce anche una **probabilità di durata a fatica**, riferita ad un singolo componente, come la probabilità che esso possa raggiungere o superare una certa durata a fatica. In altri termini, è la percentuale di componenti tra loro identici che, nelle medesime condizioni, sopravvivono rispetto alla durata a fatica calcolata.

Si definisce **durata nominale a fatica L10** come la durata a fatica calcolata in modo tale che il 90% di una quantità sufficientemente elevata di componenti dello stesso tipo possano raggiungerla o superarla. Nel caso in cui tale probabilità di durata non sia sufficiente per una determinata applicazione, la durata nominale calcolata va ridotta utilizzando un opportuno fattore di correzione.

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Previsione della vita utile (durata a fatica)

$$L_{na} = a_1 \cdot \left(\frac{C}{F}\right)^p$$

$$p = 3$$

per guide a sfere e per unità viti a sfere

$$p = 10/3$$

per guide a rulli

$L_{na}$  = Durata a fatica modificata

$a_1$  = Coefficiente della durata a fatica

$C$  = Fattore di carico dinamico (N)

$F$  = Carico sul componente, e/o somma delle componenti delle forze esterne che agiscono sul componente (N)

$p$  = Esponente dell'equazione della durata a fatica in funzione del tipo di corpo volvente (-)

Probabilità di durata	(%)	90	95	96	97	98	99
$a_1$	(-)	1,00	0,62	0,53	0,44	0,33	0,21

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Previsione della vita utile (durata a fatica)

Il fattore di carico dinamico  $C$  è il valore del carico per il quale una certa quantità di componenti di uno stesso tipo raggiunge la durata nominale a fatica stabilita dalle norme. Per le guide lineari su rotaie profilate (ed anche per le guide lineari con manicotti a sfere) tale durata è stabilita in 100 km. Si noti che alcuni produttori utilizzano un fattore di carico dinamico riferito ad una durata pari a 50 km: in questo caso sarà necessario effettuare le opportune conversioni.

Valore di riferimento 100 km	Valore di riferimento 50 km
$L = \left(\frac{C_{100}}{F}\right)^p \cdot 100 \text{ km}$	$L = \left(\frac{C_{50}}{F}\right)^p \cdot 50 \text{ km}$

$$\Rightarrow \left(\frac{C_{100}}{F}\right)^p \cdot 100 \text{ km} = \left(\frac{C_{50}}{F}\right)^p \cdot 50 \text{ km}$$

$$\left(\frac{C_{50}}{C_{100}}\right)^p = \frac{100 \text{ km}}{50 \text{ km}}$$

$$C_{50} = \sqrt[p]{\frac{100 \text{ km}}{50 \text{ km}}} \cdot C_{100}$$

$$C_{50} = \sqrt[p]{2} \cdot C_{100}$$

Con corpi volventi sferici	Con corpi volventi cilindrici
$p = 3 \Rightarrow C_{50} = \sqrt[3]{2} \cdot C_{100}$ $C_{50} = 1,26 \cdot C_{100}$	$p = \frac{10}{3} \Rightarrow C_{50} = \sqrt[\frac{10}{3}]{2} \cdot C_{100}$ $C_{50} = 1,23 \cdot C_{100}$

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)



## Previsione della vita utile (durata a fatica)

Nella vita utile di una guida a ricircolo di sfere, i carichi agenti possono variare notevolmente nel tempo. Per poter effettuare un calcolo del valore di  $L$  è quindi necessario definire un carico equivalente  $F$ .

In particolare, vanno tenuti in considerazione:

- Le diverse direzioni lungo le quali il carico può essere applicato.
- La variazione del carico nel tempo.

Nel caso del calcolo della vita utile a fatica, si considera un carico dinamico equivalente, derivante –ad esempio- dai carichi di lavoro applicati e/o da quelli inerziali.

Per il calcolo del carico dinamico equivalente, viene definito un ciclo di funzionamento rappresentativo delle distanze, velocità ed accelerazioni previste per il sistema in condizioni di esercizio. Questo ciclo è composto da  $n$  fasi, durante le quali i carichi e le velocità si considerano costanti (in caso contrario, per ogni fase va stabilito un valore medio o equivalente).

Spesso, si considera un ciclo come composto da una corsa completa (andata + ritorno), suddivisa in fasi temporali.

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Previsione della vita utile (durata a fatica)

$$F_m = \sqrt[p]{|F_1|^p \cdot \frac{q_{s1}}{100\%} + |F_2|^p \cdot \frac{q_{s2}}{100\%} + \dots + |F_n|^p \cdot \frac{q_{sn}}{100\%}}$$

$p = 3$  per guide a sfere

$p = 10/3$  per guide a rulli

$F_m$  = Carico dinamico equivalente (N)

$F_1 \dots F_n$  = Carico durante la fase 1, ... n (N)

$q_{s1} \dots q_{sn}$  = Distanza percorsa in percentuale durante le fasi 1, ... n (%)

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

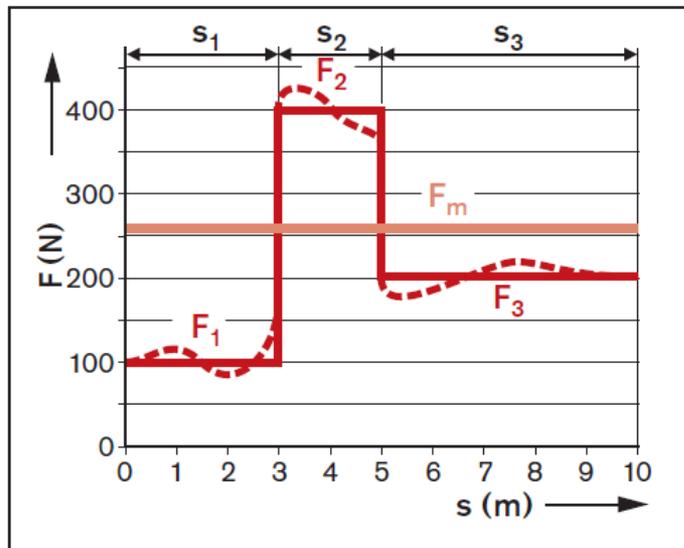
## Previsione della vita utile (durata a fatica)

Per quanto riguarda la determinazione dei tratti di corsa:

$$q_{sn} = \frac{s_n}{s} \cdot 100 \%$$

$$s = s_1 + s_2 + \dots + s_n$$

- $q_{sn}$  = Tratto di corsa (in percentuale) durante la fase n (%)  
 $s_1 \dots s_n$  = Tratto di corsa durante la fase n (mm)  
 $s$  = Corsa totale (mm)



- Andamento effettivo delle forze
- Andamento approssimativo delle forze
- Forza media sull'intero ciclo (Carico dinamico equivalente  $F_m$ )

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Previsione della vita utile (durata a fatica)

Per le guide a ricircolo di sfere è altresì necessario effettuare una verifica del carico statico, considerando un coefficiente di carico statico  $C_0$ , fornito nei TDS dei vari prodotti (corrispondente ad un carico che produce una deformazione pari a  $0.0001 \cdot D$ , dove  $D$  è il diametro dei corpi volventi considerati) ed il valore della forza massima applicata al prodotto durante un ciclo:

$$S_0 = \frac{C_0}{F_{\max}}$$

$S_0$  = Coefficiente di sicurezza statico

$C_0$  = Fattore di carico statico (N)

$F_{\max}$  = Valore massimo del carico applicato (N)

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Previsione della vita utile (durata a fatica)

I valori consigliati del coefficiente di sicurezza, in vari scenari operativi possibili, sono riportati nella seguente tabella:

Condizioni di impiego	$S_0$
Condizioni di impiego normali	1 ... 2
Con lievi urti e vibrazioni	2 ... 4
Con moderati urti o vibrazioni	3 ... 5
Con forti urti o vibrazioni	4 ... 6
Con parametri di carico sconosciuti	6 ... 15

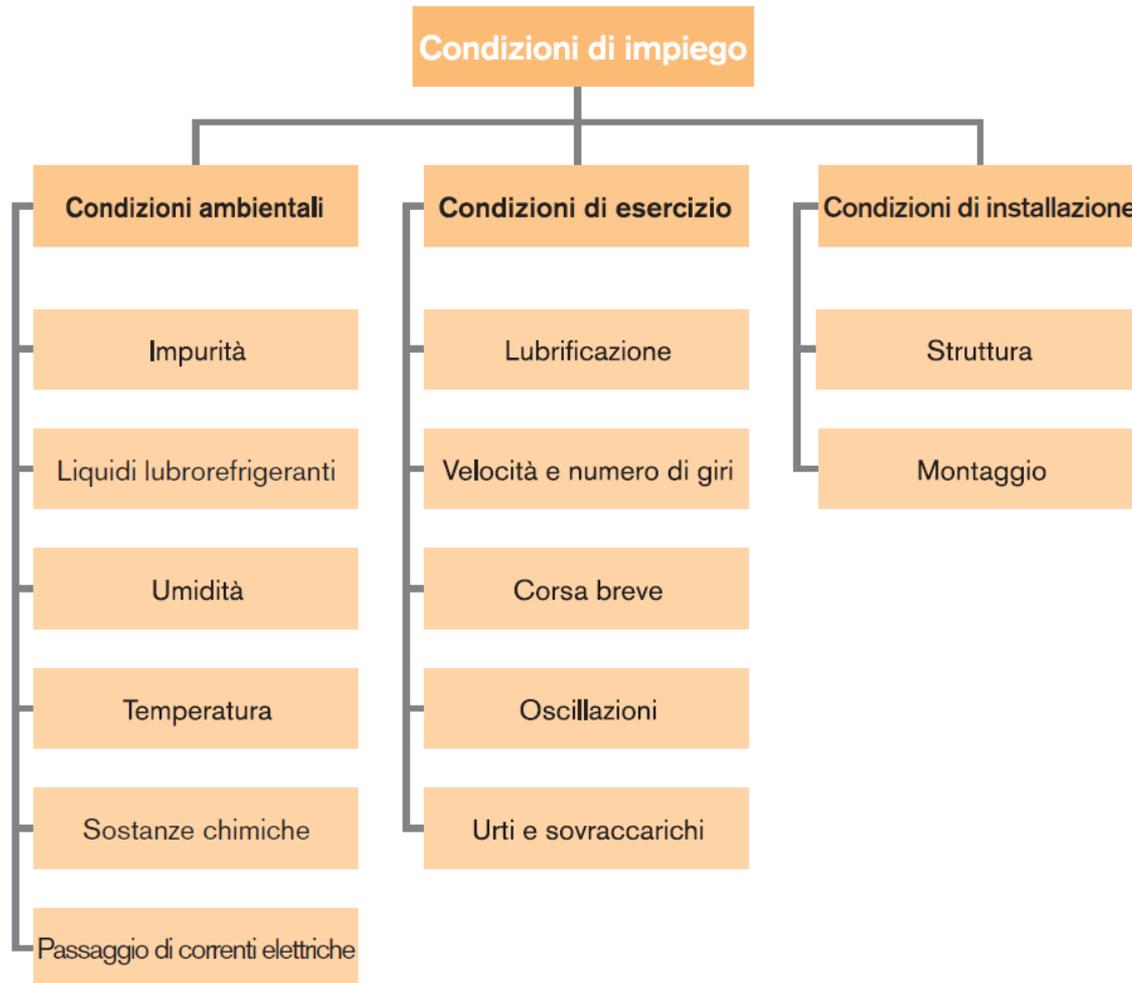
NB: indipendentemente dal valore del coefficiente di sicurezza statico, naturalmente è necessario assicurarsi che il valore della forza applicata non sia mai superiore a quello delle forze ammissibili, come riportato nei TDS dei singoli prodotti.

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Previsione della vita utile (durata a fatica)

Molte condizioni ambientali concorrono a determinare la vita a fatica di un pattino a ricircolo di sferi



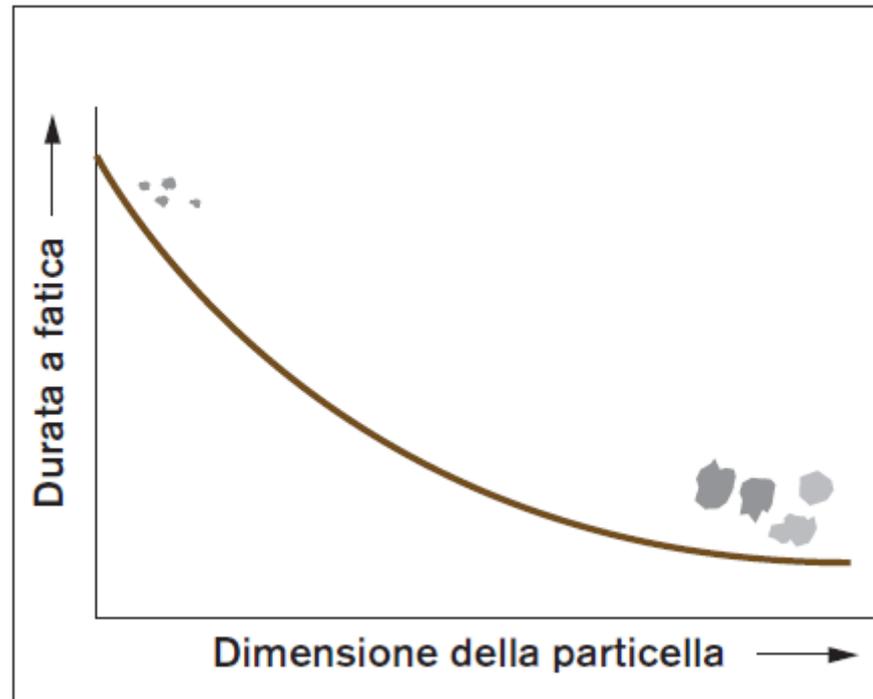
# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuur – [nscuur@units.it](mailto:nscuur@units.it)

## Previsione della vita utile (durata a fatica)

Condizioni ambientali: **impurità**.

Es: particelle di polvere, segatura, ecc. La vita a fatica può essere ridotta a causa di fenomeni di abrasione indotti dalla presenza di impurità; in alcuni casi, i corpi volventi possono bloccarsi ed il pattino può rompersi.



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Previsione della vita utile (durata a fatica)

Condizioni ambientali: **liquidi lubrorefrigeranti**.

L'infiltrazione di liquidi lubrorefrigeranti è dannosa per le guide a ricircolo di sfere, in quanto i fluidi lubrificanti presenti all'interno dei pattini possono venire lavati via. Inoltre i fluidi lubrorefrigeranti a base acquosa possono risultare corrosivi (anche a causa di fenomeni di evaporazione/condensazione di acqua pura sulle superfici).

- Contromisure:
- Impiego di acciai inossidabili.
- Cromatura dura delle superfici.
- Guarnizioni rinforzate per le guide.
- Regolare opportunamente la lubrificazione dei pattini.
- Pulizia.

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Previsione della vita utile (durata a fatica)

### Condizioni ambientali: **umidità**

La presenza di umidità può innescare fenomeni di corrosione (vedi «liquidi lubrorefrigeranti»).

### Condizioni ambientali: **temperatura**

I componenti dei pattini a ricircolo di sfere sono realizzati con diversi materiali: nel TDS dei singoli prodotti è indicata una temperatura massima di esercizio in funzione della capacità dei singoli componenti di resistere a temperature elevate. E' da tenere in considerazione il problema delle dilatazioni differenziali, che può portare a grippaggi o usura prematura causata da carichi meccanici di origine termica.

### Condizioni ambientali: **sostanze chimiche**

Nel TDS dei singoli prodotti sono in genere presenti informazioni riguardanti la compatibilità dei componenti con diverse sostanze chimiche.

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)



## Previsione della vita utile (durata a fatica)

Condizioni ambientali: **passaggio di corrente elettrica**

Anche correnti molto basse (dell'ordine dei mA) possono danneggiare piste ed elementi volventi. Il fenomeno viene chiamato ridging.

# Criteria per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)



## Previsione della vita utile (durata a fatica)

### Condizioni di esercizio: **lubrificazione**

Vanno rispettati i parametri di lubrificazione indicati nei TDS dei singoli prodotti, pena il deterioramento prematuro di piste ed elementi volventi.

### Condizioni di esercizio: **velocità**

Non bisogna superare i valori limite indicati nei TDS, pena in deterioramento delle parti più sensibili (ad es. quelle in plastica).

### Condizioni di esercizio: **corsa breve**

E' una condizione nella quale alcuni corpi volventi non attraversano mai la zona di carico. La conseguenza è un possibile deterioramento prematuro dei corpi volventi.

### Condizioni di esercizio: **vibrazioni**

Possono essere provocate sia da forze di lavoro che dagli azionamenti. Conseguenze: usura prematura di piste ed elementi volventi.

### Condizioni di esercizio: **urti e sovraccarichi**

Possono portare a deformazioni plastiche di piste ed elementi volventi.

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)



## Previsione della vita utile (durata a fatica)

Condizioni di installazione: **struttura**

Il mancato rispetto delle tolleranze delle strutture sulle quali le guide a ricircolo vengono assemblate può comportare l'insorgenza di carichi interni, difficilmente rilevabili mediante una verifica dell'aumento delle forze di attrito presenti. La conseguenza è una diminuzione della vita utile dei componenti.

Condizioni di installazione: **assemblaggio**

L'assemblaggio va eseguito con accuratezza, altrimenti possono verificarsi le medesime condizioni descritte per quanto riguarda il fattore «struttura».

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Previsione della vita utile (durata a fatica)

Condizioni di impiego standard: nessuna riduzione della vita utile a fatica:

Fattori di influenza	Normali condizioni di impiego
<b>Condizioni ambientali</b>	
Impurità	Assenza di impurità
Liquidi lubrorefrigeranti	Nessuna esposizione a liquidi lubrorefrigeranti
Umidità	Esercizio in ambiente secco
Temperatura	Esercizio a temperatura ambiente
Sostanze chimiche	Nessuna esposizione a sostanze chimiche
Correnti elettriche	Assenza di correnti elettriche
<b>Condizioni di esercizio</b>	
Lubrificazione	Adeguate lubrificazione
Velocità e numero di giri	Valori massimi ammissibili per velocità e numero di giri non superati
Corsa breve	Assenza di corsa breve
Vibrazioni	Assenza di vibrazioni
Urti e sovraccarichi	Assenza di urti e sovraccarichi
<b>Condizioni di installazione</b>	
Struttura	Osservanza delle linee guida riguardanti le strutture di fissaggio
Assemblaggio	Osservanza delle istruzioni di Assemblaggio durante l'installazione

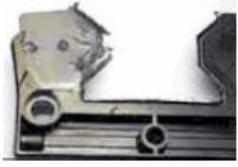
# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

Tipologia di guasto	Foto del guasto	Probabile causa	Contromisure
Corrosione		<ul style="list-style-type: none"> <li>▮ Influenze ambientali sfavorevoli</li> <li>▮ Esposizione a liquido lubrorefrigerante</li> <li>▮ Agenti aggressivi (acidi ecc.)</li> <li>▮ Elevata umidità dell'aria (presenza di nebbie saline)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▮ Adattamento alle condizioni ambientali</li> <li>▮ Utilizzo di prodotti anti-corrosione</li> <li>▮ Sistemi di guarnizione adeguati</li> <li>▮ Sistemi di protezione adeguati</li> <li>▮ Ottimizzazione della lubrificazione</li> </ul>
Blocco dei corpi volenti		<ul style="list-style-type: none"> <li>▮ Impurità dovute a truciolato</li> <li>▮ Impurità dovute alla polvere</li> <li>▮ Lubrificazione carente</li> <li>▮ Rottura dei corpi volenti</li> <li>▮ Elementi di ricircolo difettosi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▮ Sistemi di guarnizione adatti</li> <li>▮ Sistemi di protezione adeguati</li> <li>▮ Lubrificazione sufficiente</li> <li>▮ Evitare sovraccarichi</li> <li>▮ Verificare l'applicazione</li> </ul>
Forte colorazione scura		<ul style="list-style-type: none"> <li>▮ Carenza di lubrificante (Temperature elevate)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▮ Ottimizzare la lubrificazione</li> </ul>
Corrosione puntiforme e distacco del materiale		<ul style="list-style-type: none"> <li>▮ Fatica dei corpi volenti</li> <li>▮ Raggiungimento della durata a fatica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▮ Ridurre il carico</li> <li>▮ Uso di componenti con maggiori capacità di carico</li> <li>▮ Verificare l'applicazione</li> </ul>
Impronta plastica dei corpi volenti		<ul style="list-style-type: none"> <li>▮ Sovraccarico statico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▮ Uso di componenti con maggiori capacità di carico</li> <li>▮ Ridurre il carico</li> </ul>
Distruzione della zona di ricircolo (esempio: pattini a sfere)		<ul style="list-style-type: none"> <li>▮ Velocità eccessivamente elevate</li> <li>▮ Urti</li> <li>▮ Blocco dei corpi volenti dovuto alle impurità</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▮ Ridurre le velocità</li> <li>▮ Evitare i sovraccarichi</li> <li>▮ Evitare urti</li> <li>▮ Sistemi di guarnizione adatti</li> <li>▮ Sistemi di protezione adeguati</li> </ul>

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

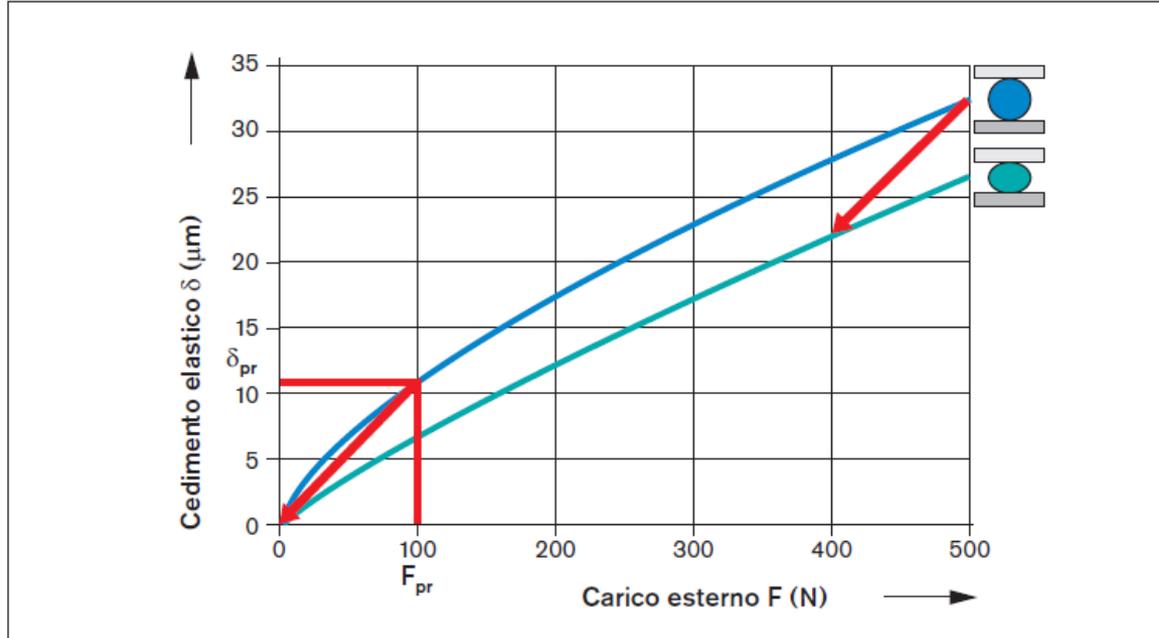
Tipologia di guasto	Foto del guasto	Probabile causa	Contromisure
Distruzione del corpo principale (esempio: unità viti a sfere)		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Sovraccarico</li> <li>■ Urti</li> <li>■ Difetto di materiale, difetto di produzione</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Ridurre il carico</li> <li>■ Evitare urti</li> <li>■ Impiegare componenti sottoponibili a sollecitazioni maggiori</li> </ul>
Distruzione dei corpi volenti		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Sovraccarico</li> <li>■ Urti</li> <li>■ Difetto di materiale, difetto di produzione</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Evitare sovraccarichi</li> <li>■ Ridurre il carico</li> <li>■ Impiegare componenti con maggiori capacità di carico</li> <li>■ Evitare urti</li> </ul>
Segni dovuti al rotolamento sui corpi volenti (esempio: sfera)		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Usura</li> <li>■ Fatica dei corpi volenti</li> <li>■ Raggiungimento della durata a fatica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Ottimizzare la lubrificazione</li> <li>■ Impiegare componenti con maggiori capacità di carico</li> </ul>
Rottura per fatica (esempio: vite a circolo di sfere)		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Sollecitazioni da flessione rotante</li> <li>■ Sollecitazioni dovute alle vibrazioni</li> <li>■ Sollecitazioni da dilatazione</li> <li>■ Sollecitazioni alternate</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Evitare la flessione rotante (correggere i difetti di allineamento)</li> <li>■ Evitare le vibrazioni da risonanza</li> </ul>
Distruzione dei frontali (esempio: pattini delle guide a rulli)		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Blocco dei corpi volenti dovuto alle impurità</li> <li>■ Urti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Utilizzare guarnizioni aggiuntive</li> <li>■ Utilizzare sistemi di protezione adeguati</li> <li>■ Evitare gli urti</li> </ul>
Appiattimento locale dei corpi volenti (esempio: rullo)		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Slittamento (dei corpi volenti)</li> <li>■ Impurità</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Adottare un precarico adeguato per le velocità e le accelerazioni previste durante il funzionamento</li> <li>■ Utilizzare sistemi di protezione e guarnizioni adeguate</li> </ul>

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Tecnologia delle guide a ricircolo di sfere

Spesso, nell'accoppiamento sfere-pista è previsto un precarico, avente lo scopo di aumentare la rigidezza del sistema. Esso, tuttavia, aumenta la resistenza allo scorrimento e riduce la vita a fatica del componente (va tenuto in considerazione nel calcolo).



Influenza del precarico sul cedimento elastico

- Sfera senza precarico
- Sfera con precarico
- $\delta_{pr}$  Deformazione con forza di precarico  $F_{pr}$
- $F_{pr}$  Forza di precarico

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Tecnologia delle guide a ricircolo di sfere

L'attrito in una guida a ricircolo di sfere dipende da:

- Attrito volvente (scorrimento differenziale).
- Attrito guarnizioni.
- Attrito viscoso (oli, grasso, ecc.).
- Velocità (effetto «onda», ecc.).

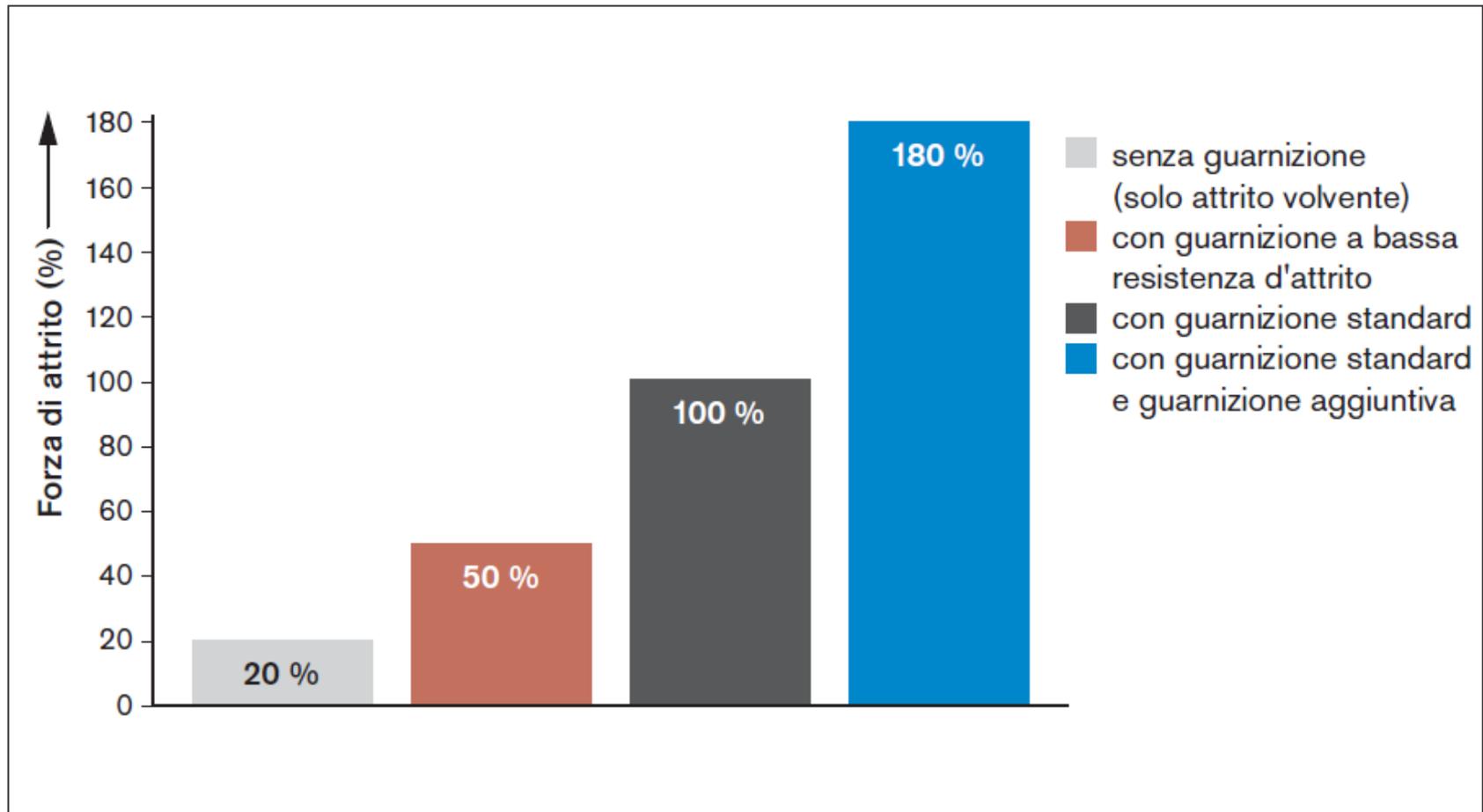
Elementi lineari	Coefficiente di attrito $\mu$ senza guarnizione	Indicazioni
Guide lineari con manicotti a sfere	0,001 ... 0,004	Manicotti a sfere standard
Guide lineari a sfere	0,002 0,003	2-punti di contatto 4-punti di contatto
Guide a rulli su rotaia	0,0004	Contatto su linea
Unità viti a sfere	0,004 0,010	2-punti di contatto 4-punti di contatto

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Tecnologia delle guide a ricircolo di sfere

Ad esempio, in una guida lineare a sfere, con precarico del 2% C0, con tappi di chiusura:

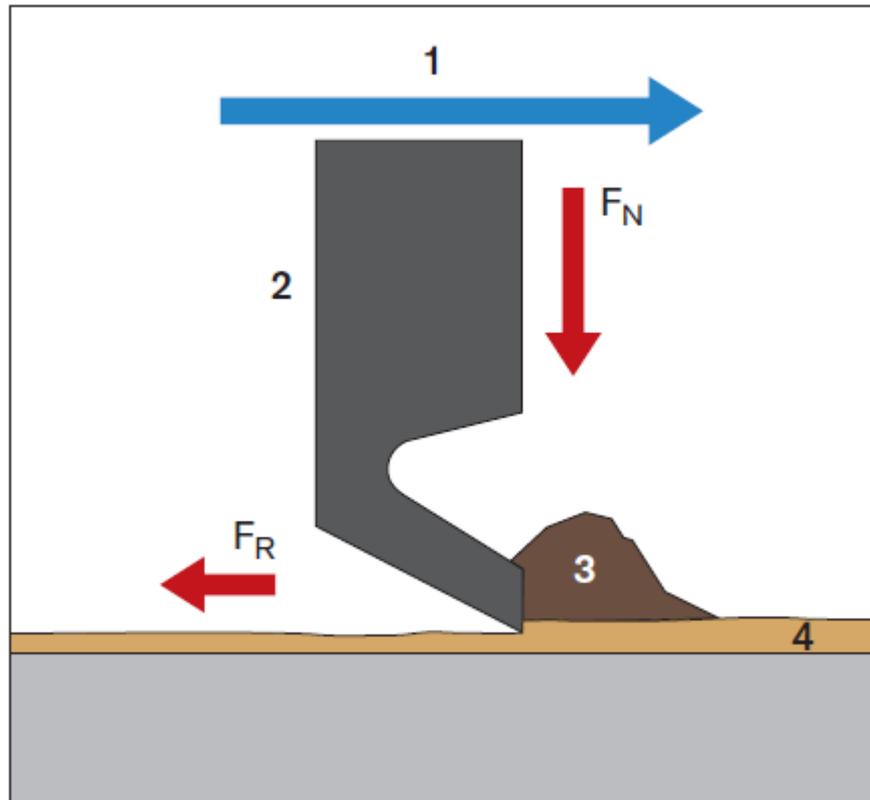


# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Tecnologia delle guide a ricircolo di sfere

Le guarnizioni frontali nelle guide a ricircolo di sfere impediscono l'ingresso di impurità, lasciando trafilare un sottile strato di lubrificante.

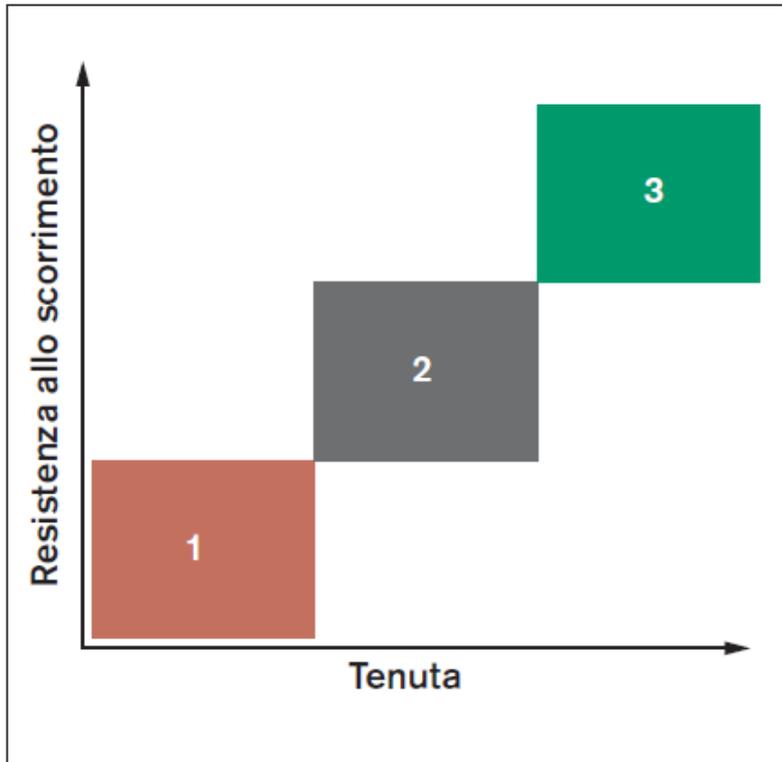


# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Tecnologia delle guide a ricircolo di sfere

Sono disponibili anche prodotti con guarnizioni longitudinali e guarnizioni supplementari, per ambienti molto sporchi o in presenza di fluidi potenzialmente corrosivi.



- 1 Guarnizioni con attrito molto basso (guarnizioni a bassa resistenza d'attrito)
- 2 Guarnizioni standard
- 3 Guarnizioni ad elevata tenuta (guarnizioni rinforzate)

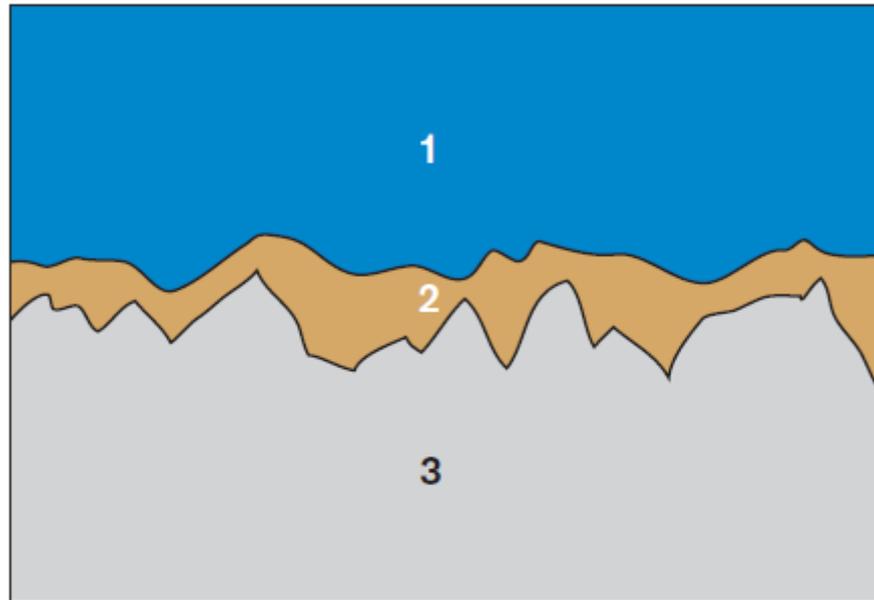
Relazione tra tenuta e resistenza allo scorrimento

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuur – [nscuur@units.it](mailto:nscuur@units.it)

## Tecnologia delle guide a ricircolo di sfere

Il lubrificante serve a tenere separati i corpi volventi dalle piste, e ad inibire i fenomeni di corrosione.



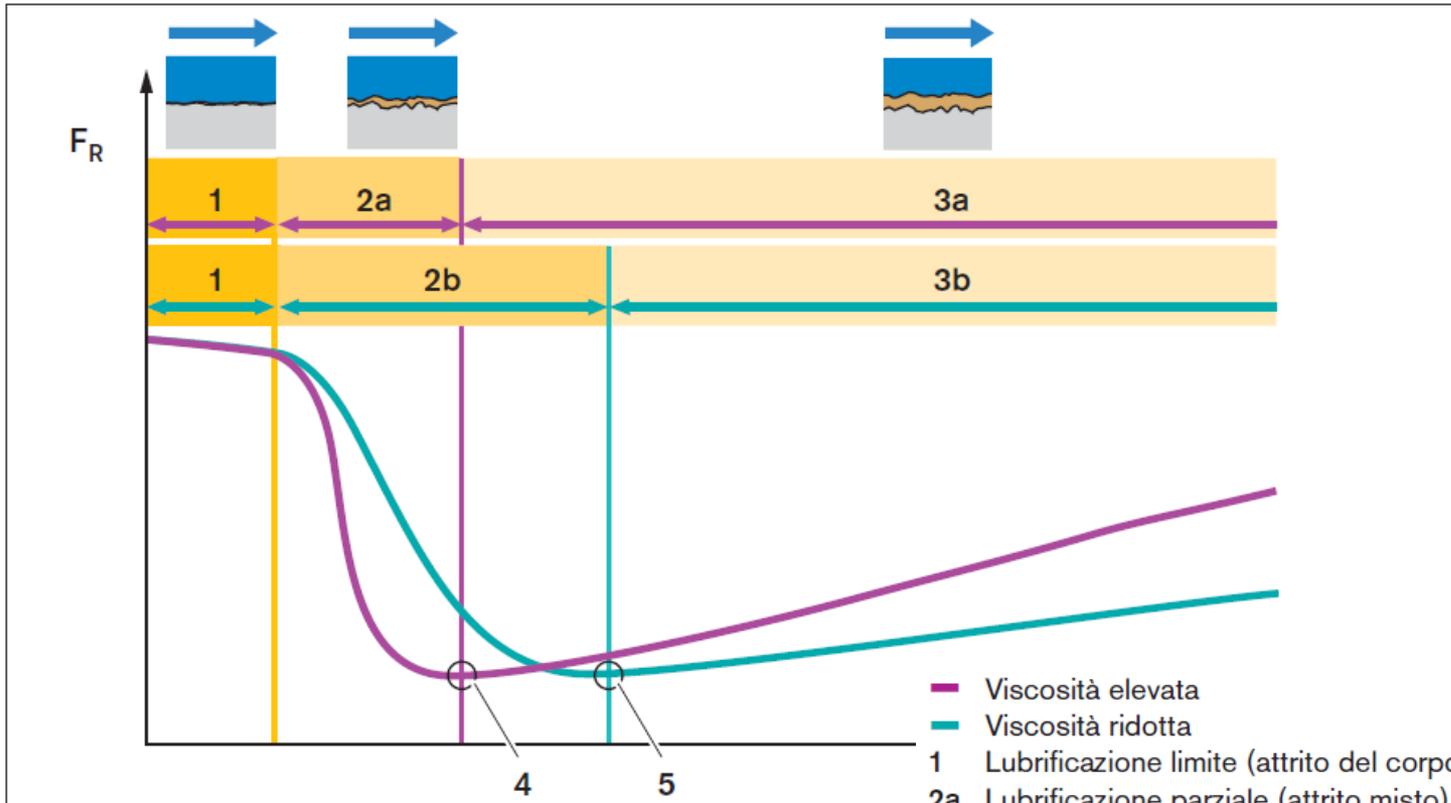
Rappresentazione fortemente ingrandita dell'area di contatto

- 1 Corpi volventi
- 2 Lubrificante
- 3 Superficie di rotolamento

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

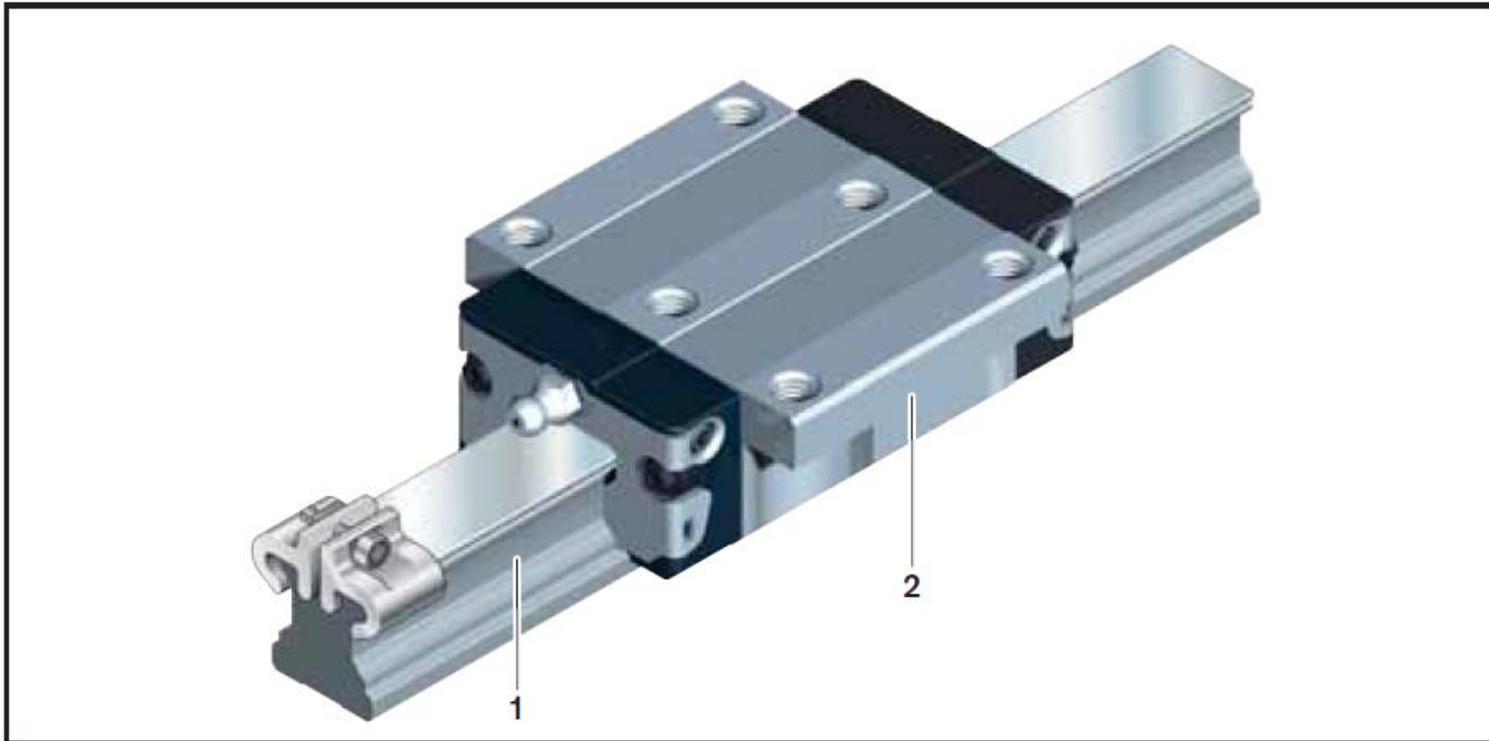
Curva di Stribeck:



- Viscosità elevata
- Viscosità ridotta
- 1 Lubrificazione limite (attrito del corpo solido)
- 2a Lubrificazione parziale (attrito misto) in presenza di elevata viscosità
- 2b Lubrificazione parziale (attrito misto) in presenza di ridotta viscosità
- 3a Lubrificazione completa (attrito fluido) in presenza di elevata viscosità
- 3b Lubrificazione completa (attrito fluido) in presenza di ridotta viscosità
- 4 Punto di distacco in presenza di elevata viscosità
- 5 Punto di distacco in presenza di ridotta viscosità
- $F_R$  Forza di attrito
- $v$  Velocità
- $n$  Numero di giri

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

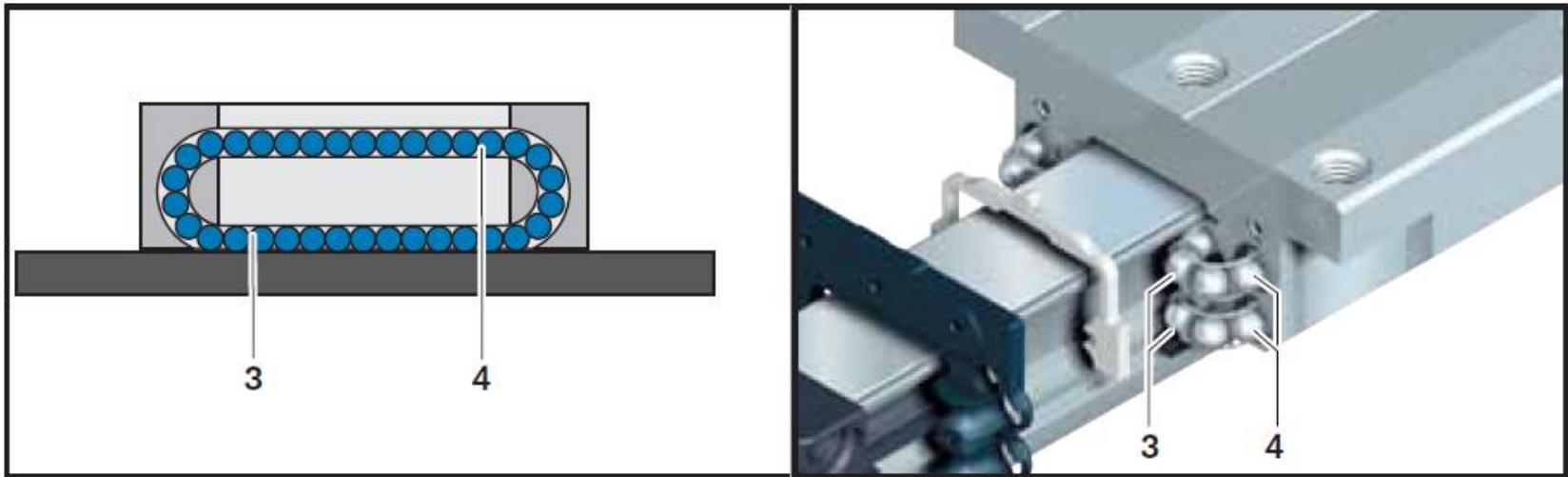


Guide lineari su rotaie profilate (esempio: guida a sfera su rotaia)

1. Rotaia
2. Pattino

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

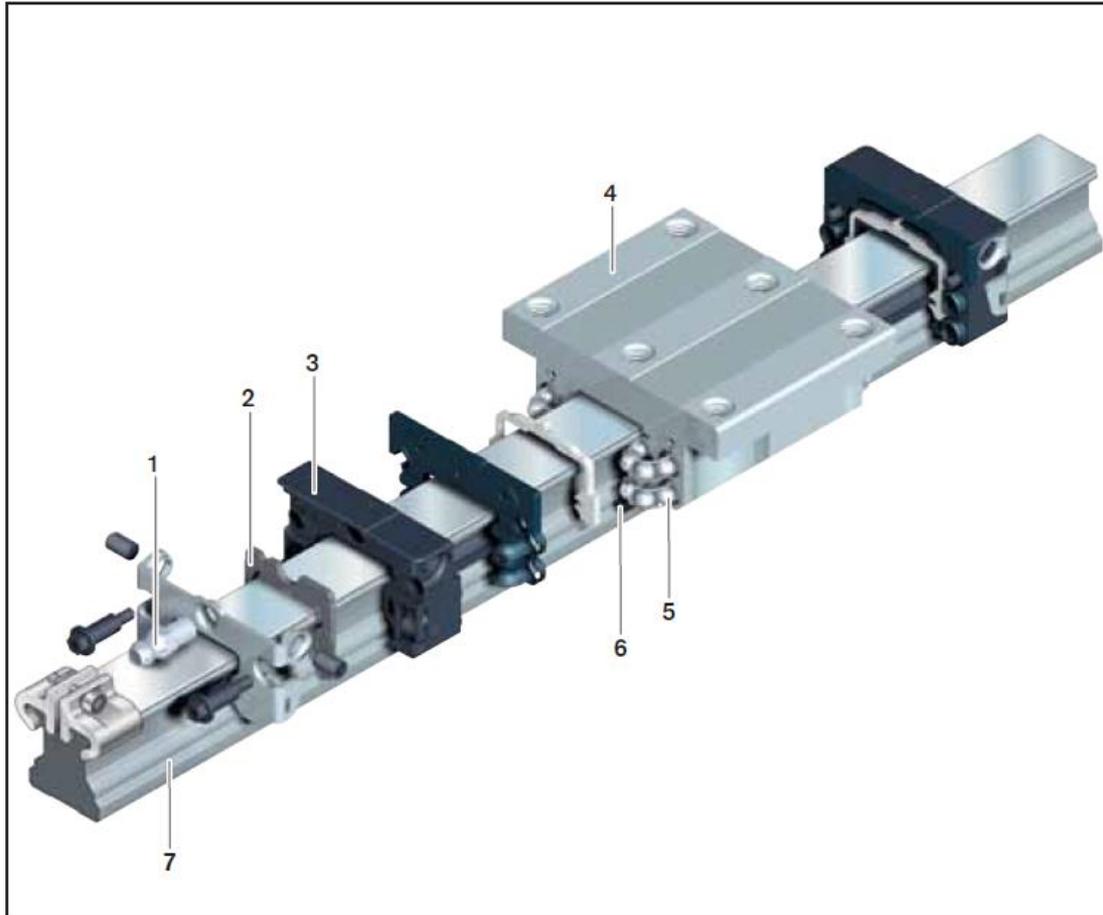


Rappresentazione schematica (a sinistra) del ricircolo dei corpi volventi e all'interno di guide a sfere su rotaia

- 3. Zona di carico
- 4. Zona (canale) di ricircolo dei corpi volventi

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuur – [nscuur@units.it](mailto:nscuur@units.it)

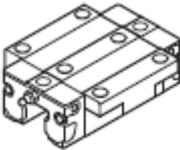
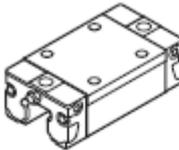
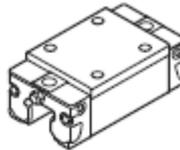
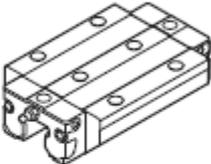
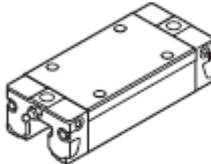
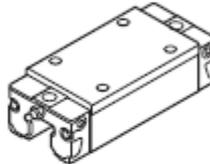


Struttura di una guida lineare a sfere su rotaia di ultima generazione

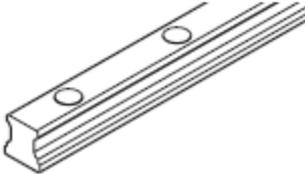
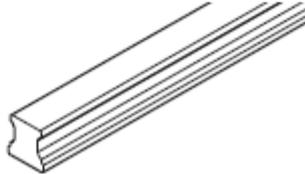
1. Raccordo di lubrificazione (nipplo ingrassatore)
2. Guarnizione frontale
3. Frontale di ricircolo
4. Corpo base del pattino
5. Corpi volventi
6. Guarnizione longitudinale
7. Rotaia

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

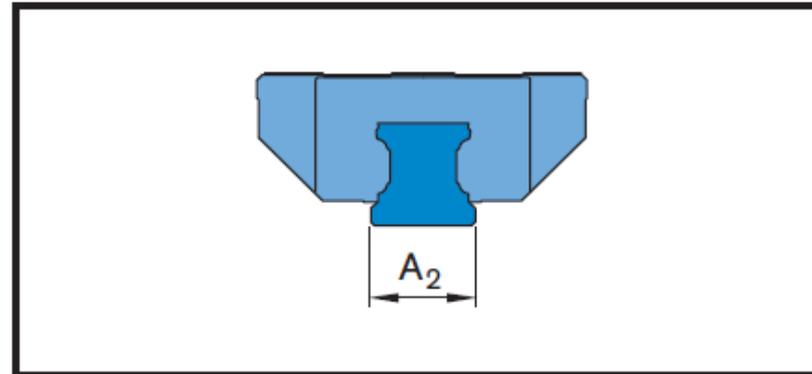
	Serie 1	Serie 2	Serie 3
Forma	Normale 	Stretta 	Stretta Alta 
	Normale Lunga 	Stretta Lunga 	Stretta Alta Lunga 

Forme delle rotaie secondo la norma DIN 645-1:

	Serie 1	Serie 2
Forma	Avvitabili dall'alto 	Avvitabili dal basso 

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

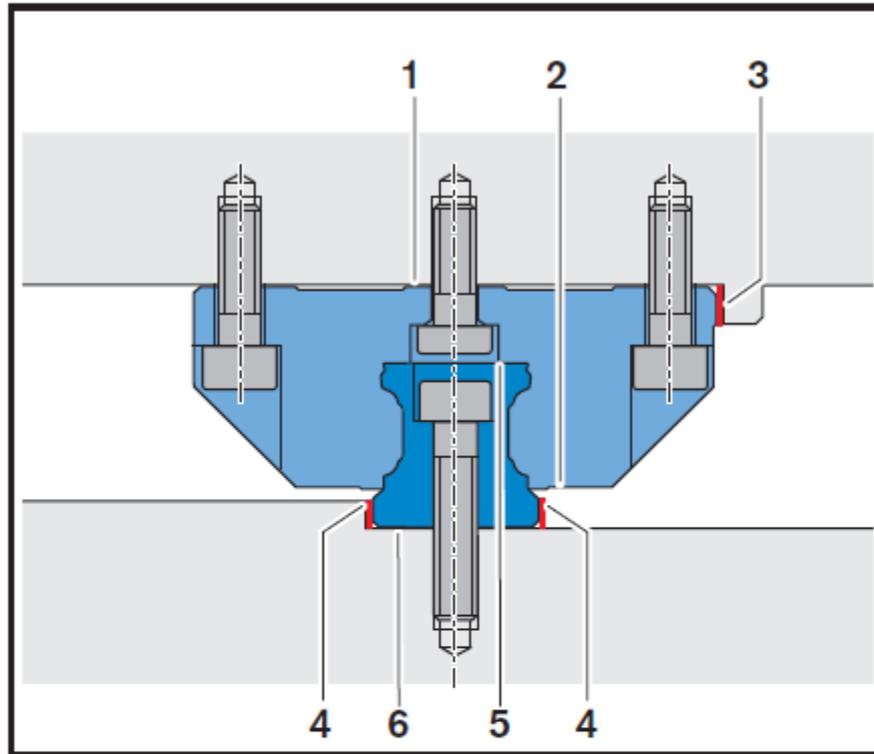


larghezza della base della rotaia

Norma	DIN 645 Parte 2	DIN 645 Parte 1
Definizione della norma	Guide volventi, guide volventi su rotaia profilata Parte 2: Dimensioni della serie 4	Guide volventi, guide volventi su rotaia profilata Parte 1: Dimensioni dalla serie 1 alla 3
Guide lineari su rotaie profilate	Serie miniaturizzata	Standard
Dimensione	7    9    12    15	15    20    25    30    35    45    55    65

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

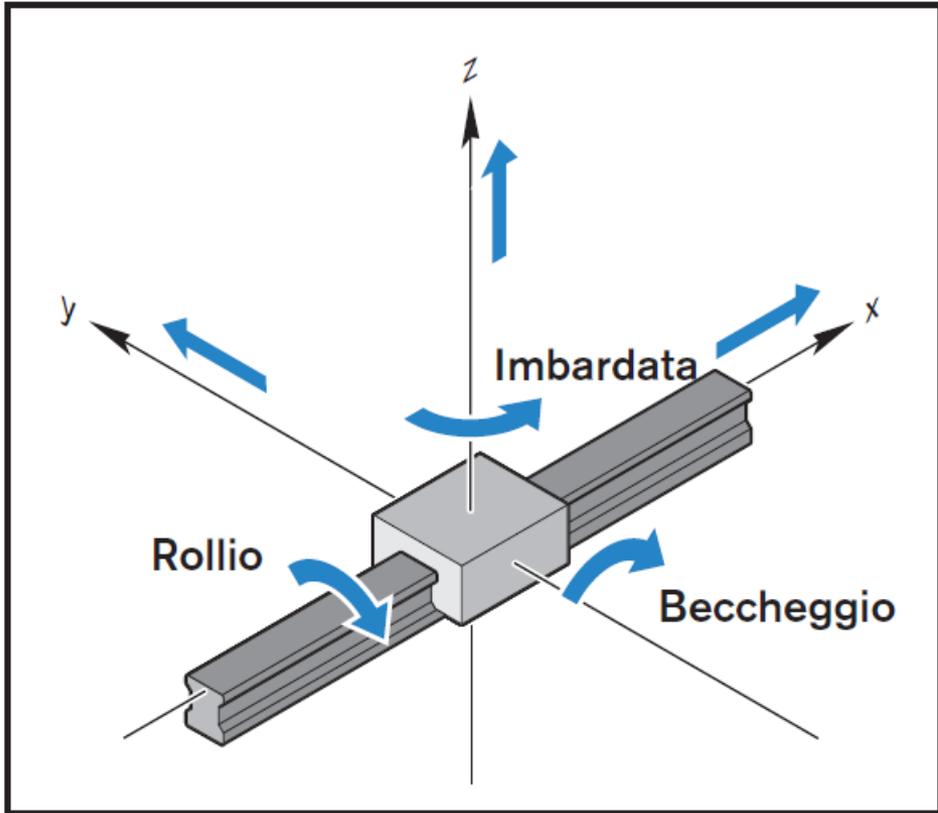


Superfici di riferimento laterali

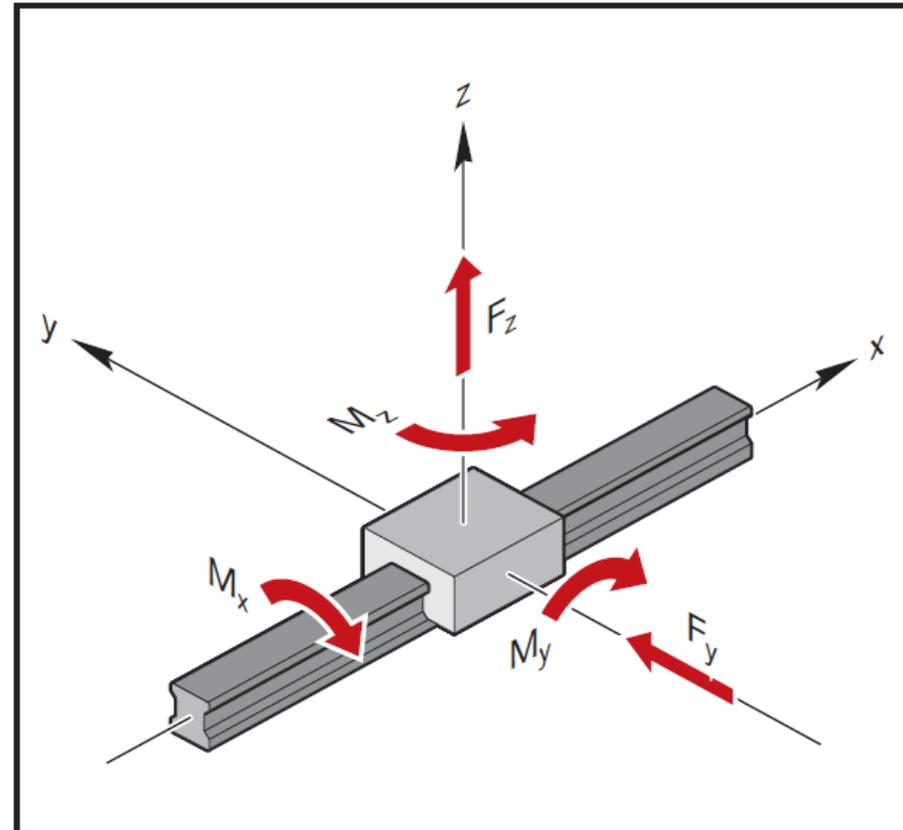
1. Piano di appoggio dei pattini
2. Superficie di testa dei pattini
3. Battuta di riferimento laterale del pattino
4. Battute di riferimento laterale della rotaia
5. Superficie di testa delle rotaie
6. Piano di appoggio della rotaia

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)



Gradi di libertà assiali e rotazionali

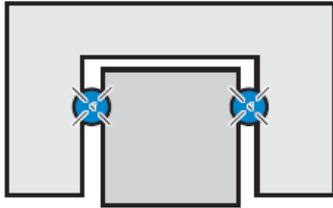


Direzioni principali di carico

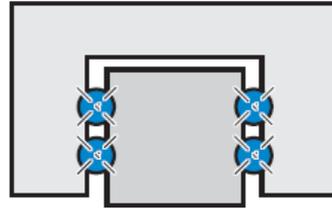
# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

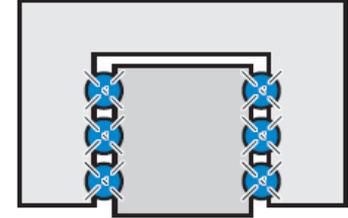
2 ricircoli di corpi volventi



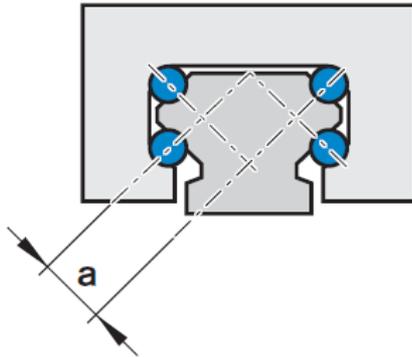
4 ricircoli di corpi volventi



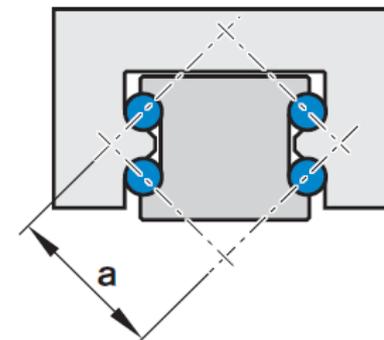
6 ricircoli di corpi volventi



Schema a X

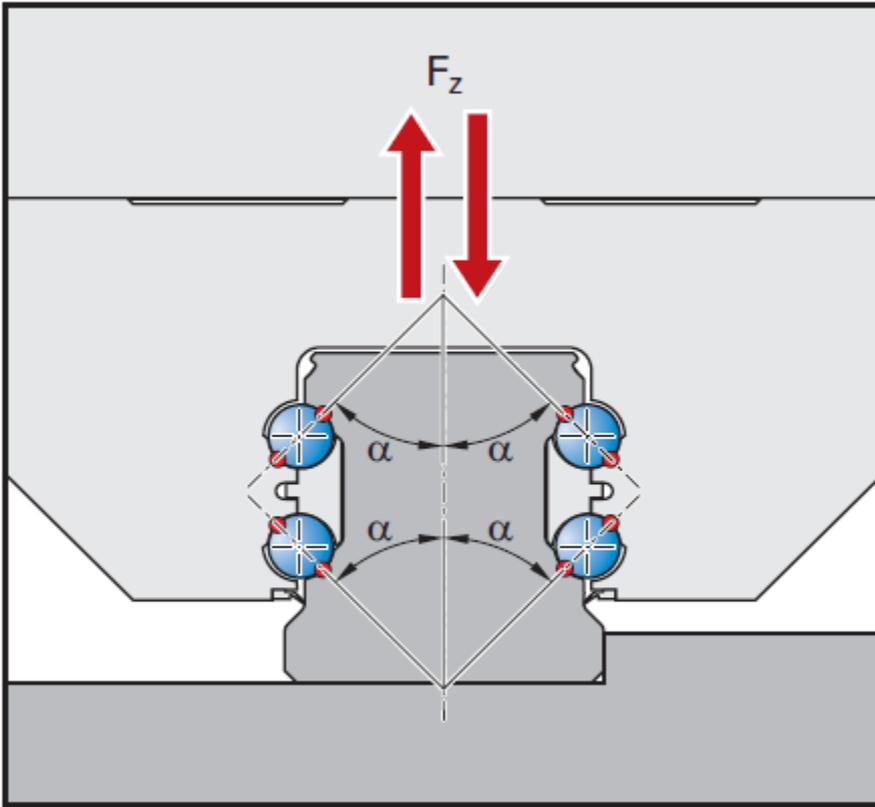


Schema a O

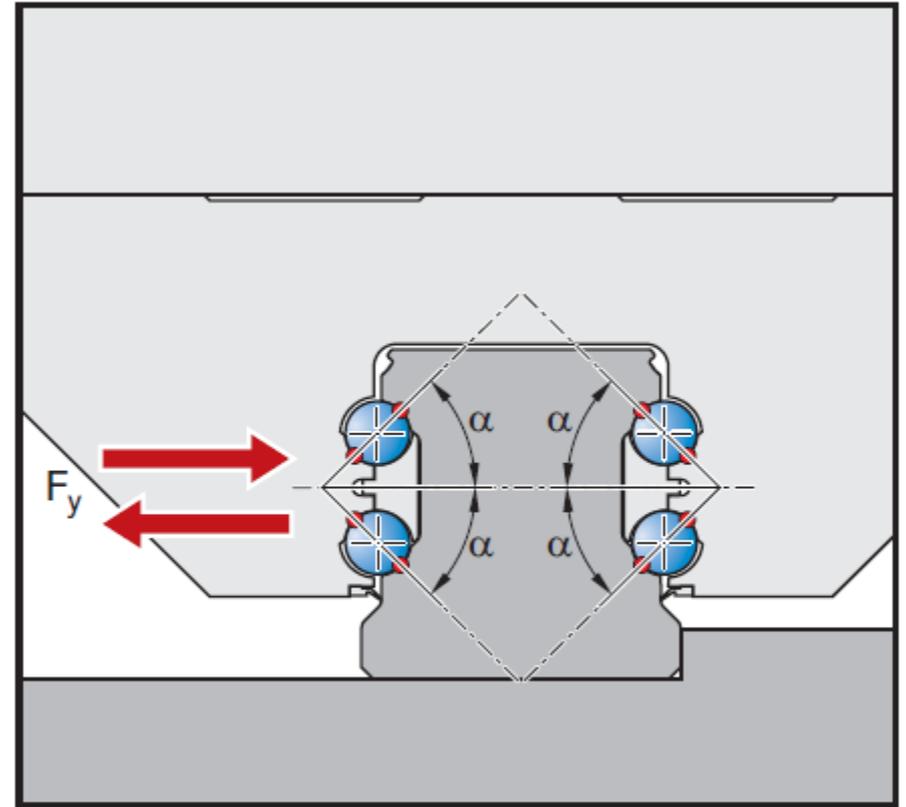


# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)



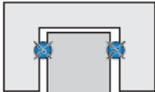
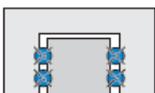
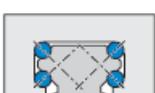
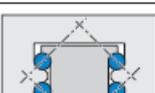
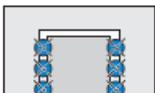
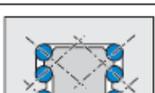
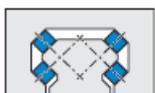
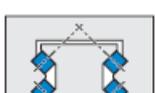
Angolo di contatto alfa con carico di trazione o di compressione



Angolo di contatto alfa con carico laterale

# Criteri per la progettazione di una MU

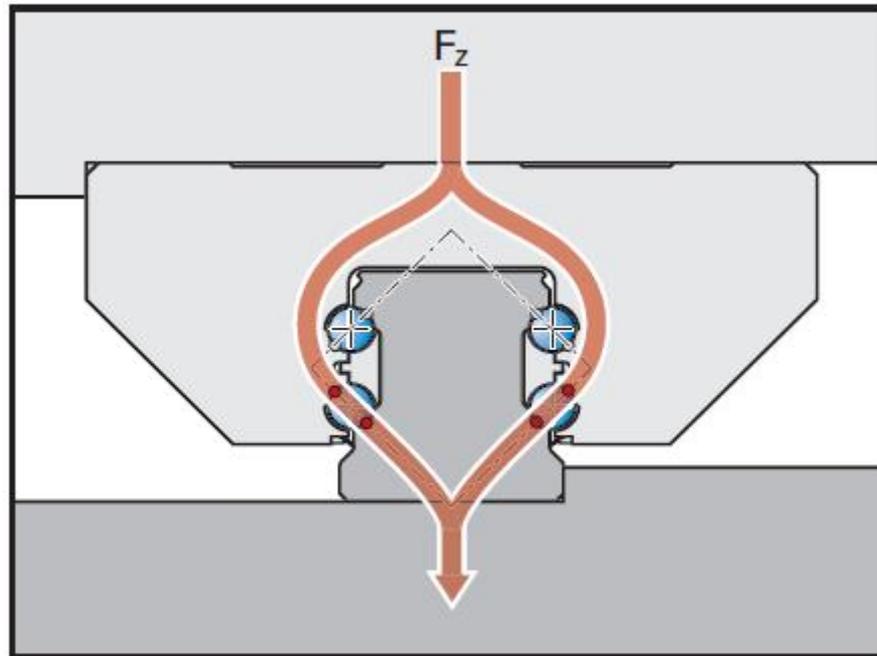
Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

Guida lineare su rotaie profilate	Numero di ricircoli dei corpi volventi	Rappresentazione schematica	Tipo di contatto	Schema di contatto
Guide a sfere su rotaie	2 ricircoli		4 punti di contatto	
	4 ricircoli		4 punti di contatto	
	4 ricircoli		2 punti di contatto	Schema a X
	4 ricircoli		2 punti di contatto	Schema a O
	6 ricircoli		4 punti di contatto	
	6 ricircoli		2 punti di contatto	Schema combinato X-O
Guide a rulli su rotaie	4 ricircoli		Contatto lineare	Schema a X
	4 ricircoli		Contatto lineare	Schema a O

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

Riduzione della capacità di carico: flussi delle forze agenti

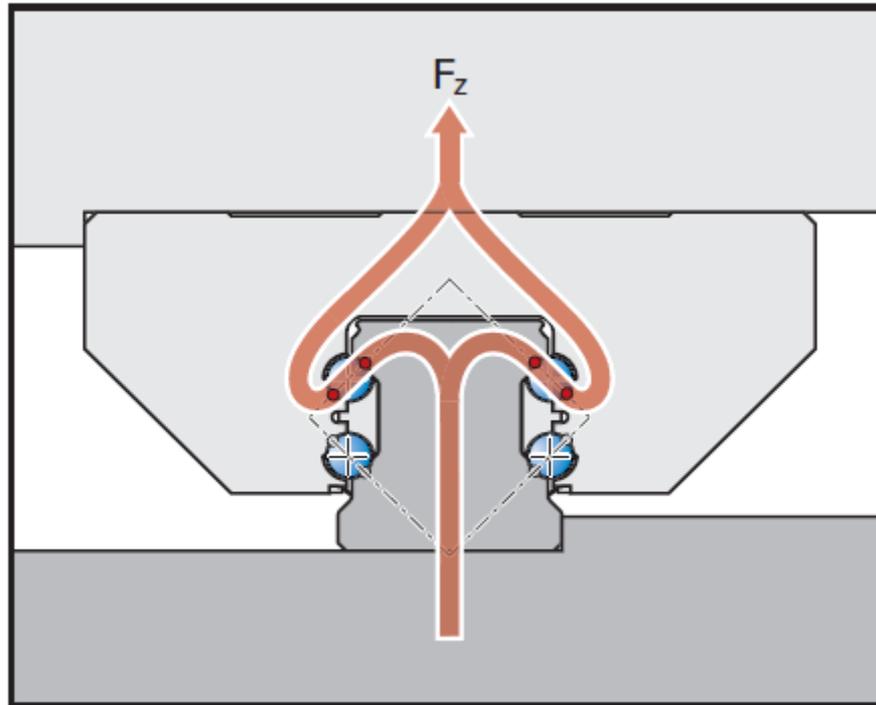


Flusso di forze nel carico a compressione  $F_z$

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

Riduzione della capacità di carico: flussi delle forze agenti

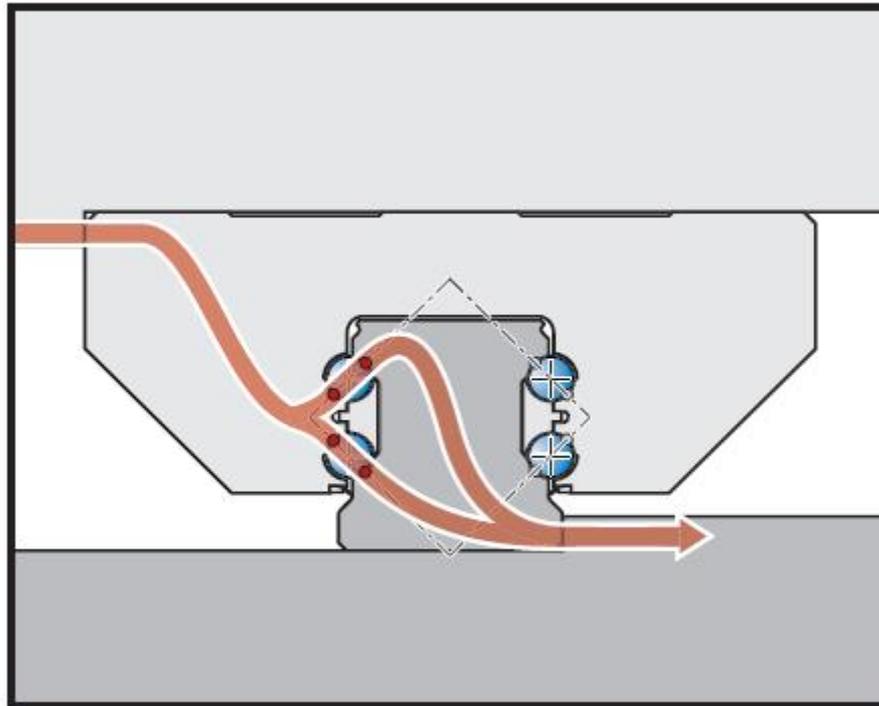


Flusso di forze del carico a trazione  $F_z$

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

Riduzione della capacità di carico: flussi delle forze agenti

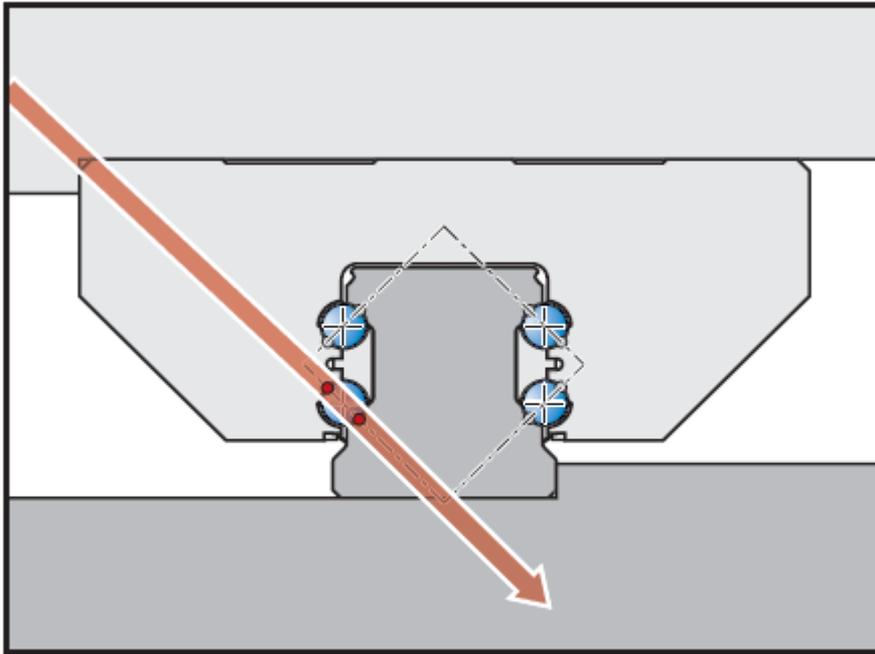


Flusso di forze nel carico laterale  $F_y$

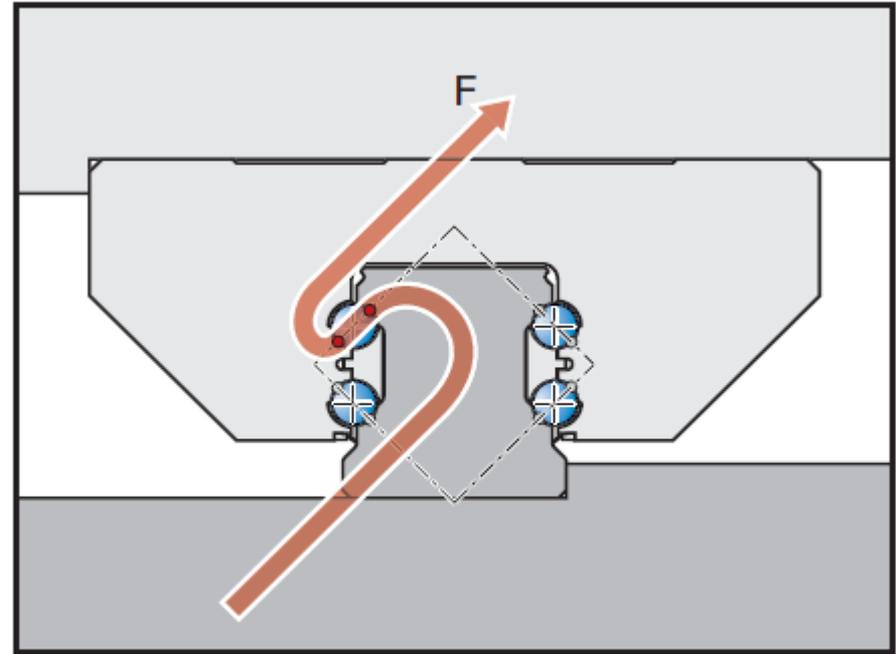
# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Riduzione della capacità di carico: flussi delle forze agenti



Carico a compressione inclinato di 45°



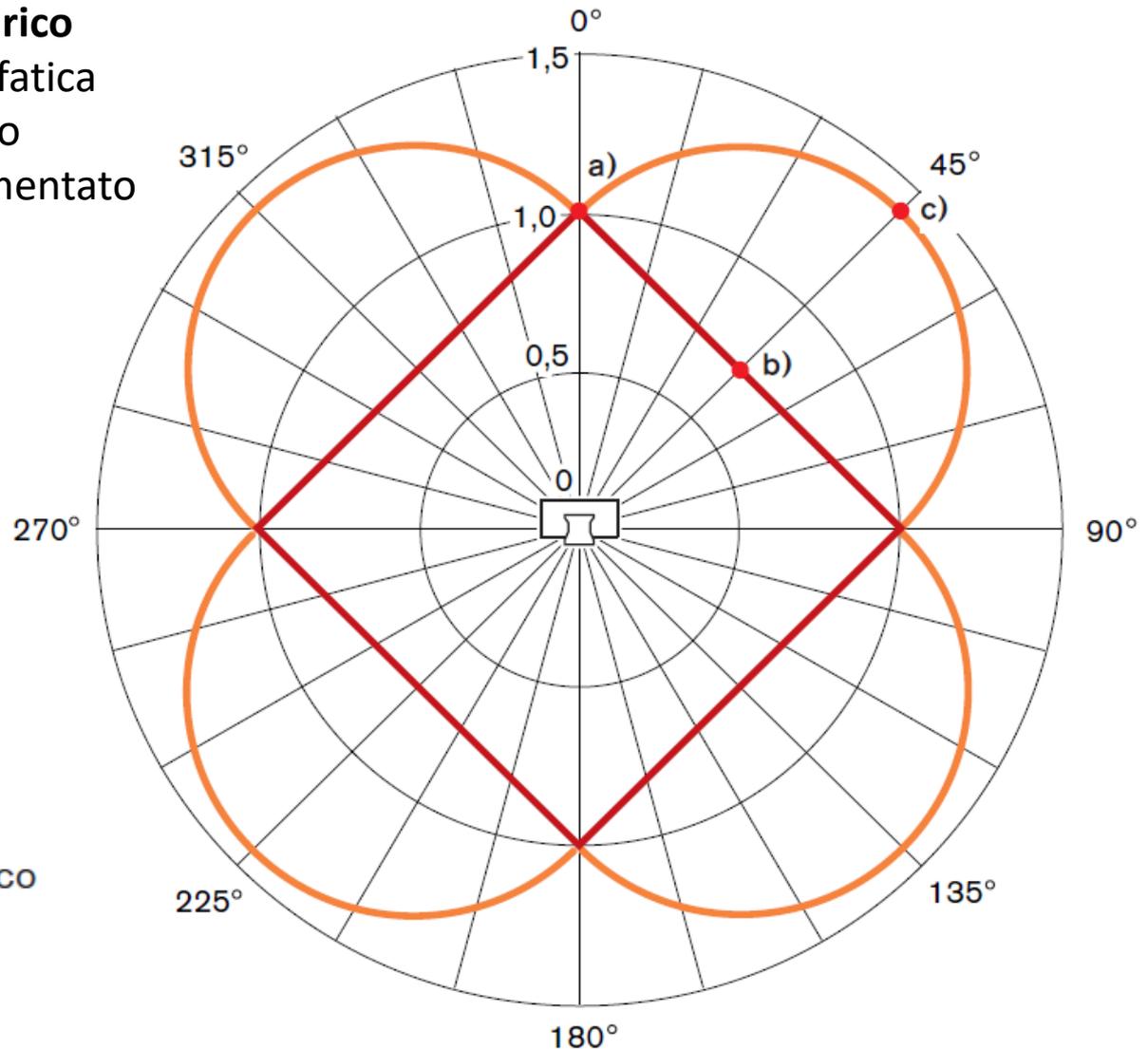
Carico a trazione inclinato di 45°

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Fattore moltiplicativo del carico

Per ottenere la stessa vita a fatica  
il carico deve essere ridotto o  
il fattore C0 deve essere aumentato



- Carico
- Fattore di carico dinamico

# Criteri per la progettazione di una MU

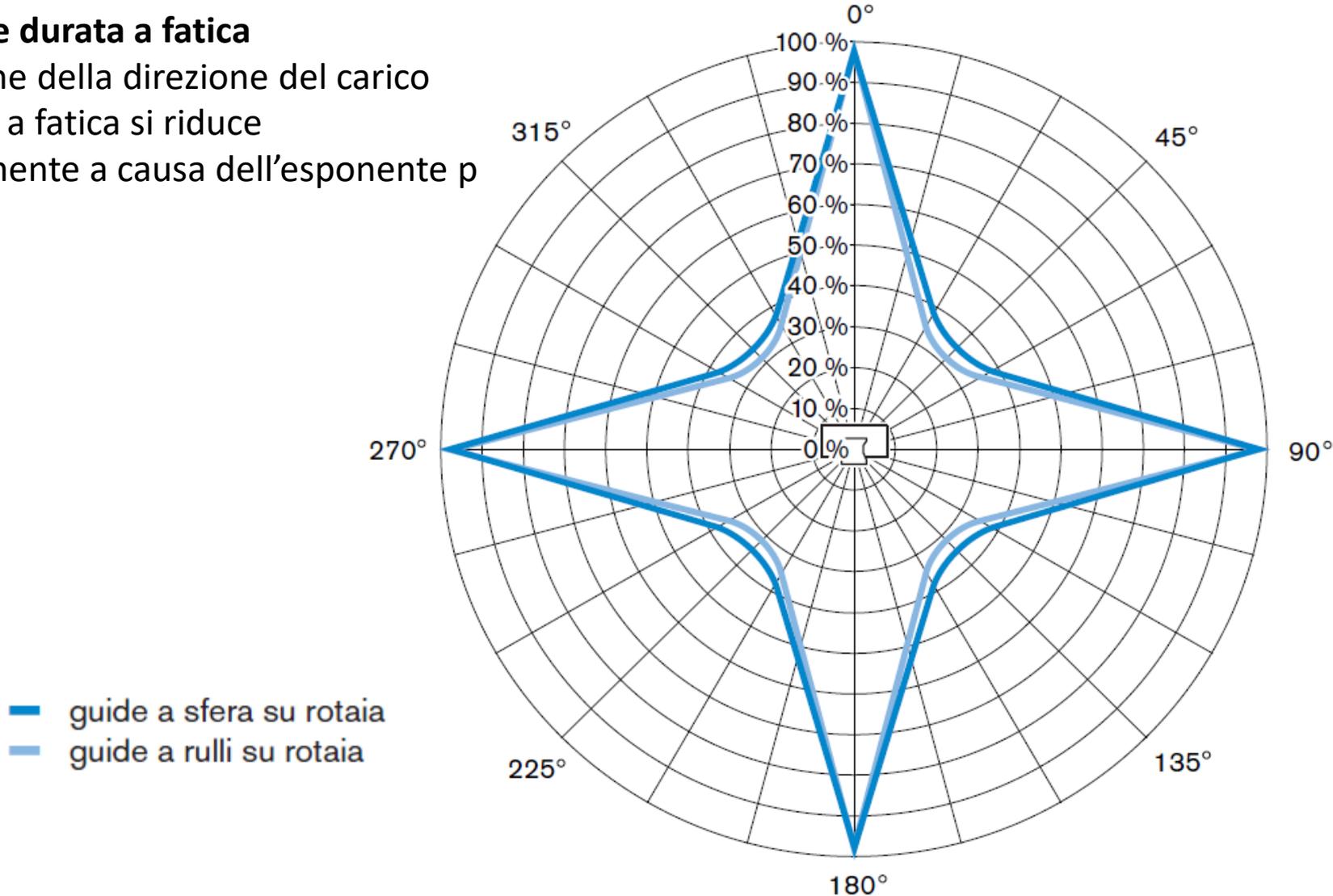
Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Riduzione durata a fatica

In funzione della direzione del carico

La durata a fatica si riduce

Drasticamente a causa dell'esponente  $p$

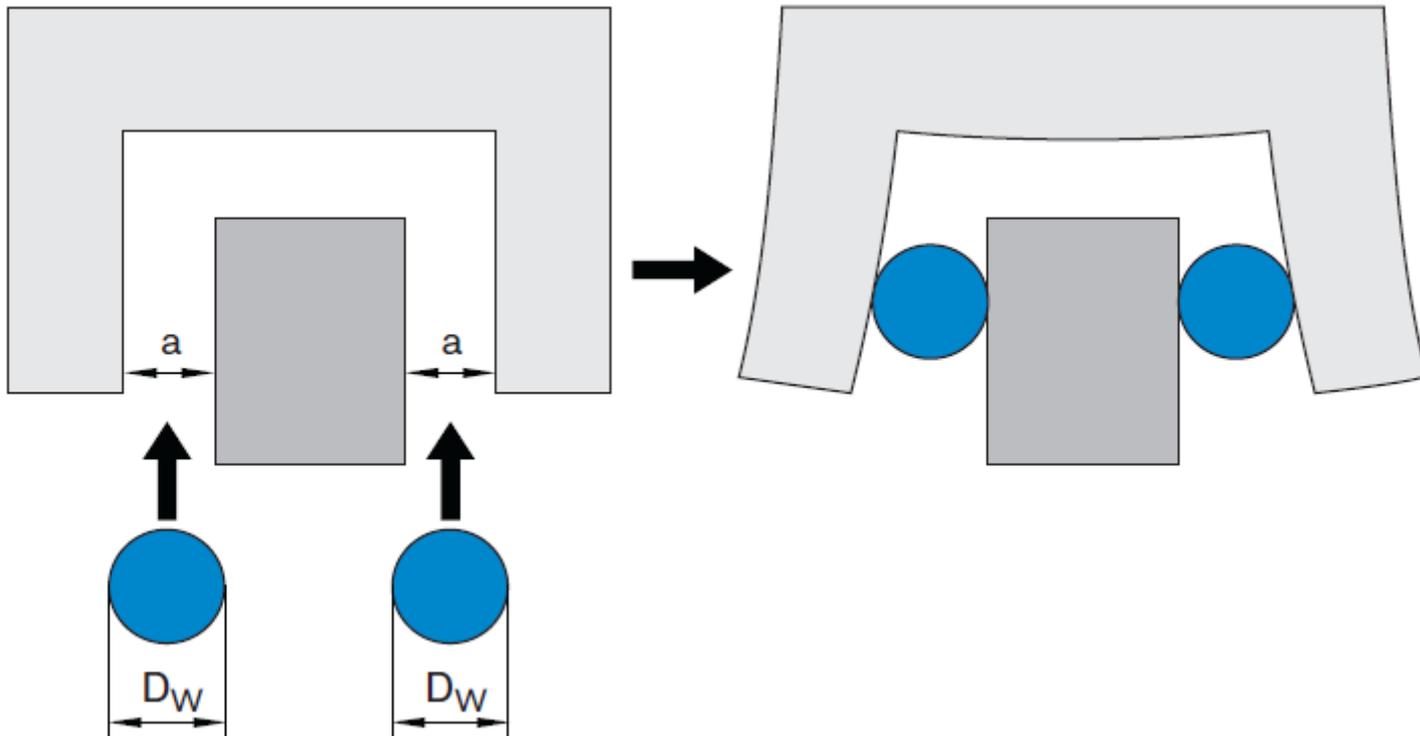


# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuur – [nscuur@units.it](mailto:nscuur@units.it)

## Precarico

Sfere di diametro maggiorato.



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Precarico

Codice classe di precarico	Versione	Fattore della classe di precarico $X_{pr} (-)$	Campo di applicazione
C0	Senza precarico (gioco)	0	Per sistemi di guida particolarmente scorrevoli con il più basso attrito possibile e minori influenze esterne.
C1	Precarico medio 0,02 C (2 % di C) Con guide a rulli su rotaia (RRS): 0,03 C (3 % di C)	0,02  0,03 (RRS)	Per sistemi di guida senza gioco con bassi carichi esterni e ridotte esigenze di rigidezza..
C2	Precarico medio 0,08 C (8 % di C)	0,08	Per sistemi di guida precisi e, allo stesso tempo, elevati carichi esterni ed elevate esigenze di rigidezza; consigliato anche per sistemi monorotaia. Carichi o momenti possono essere applicati senza un significativo cedimento elastico.
C3	Precarico elevato 0,13 C (13 % di C)	0,13	Per sistemi di guida ad elevata rigidezza come, ad esempio, macchine utensili di precisione o macchine per deformazione. Carichi e momenti possono essere applicati con un minimo cedimento elastico.

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Precarico

Forza di precarico:

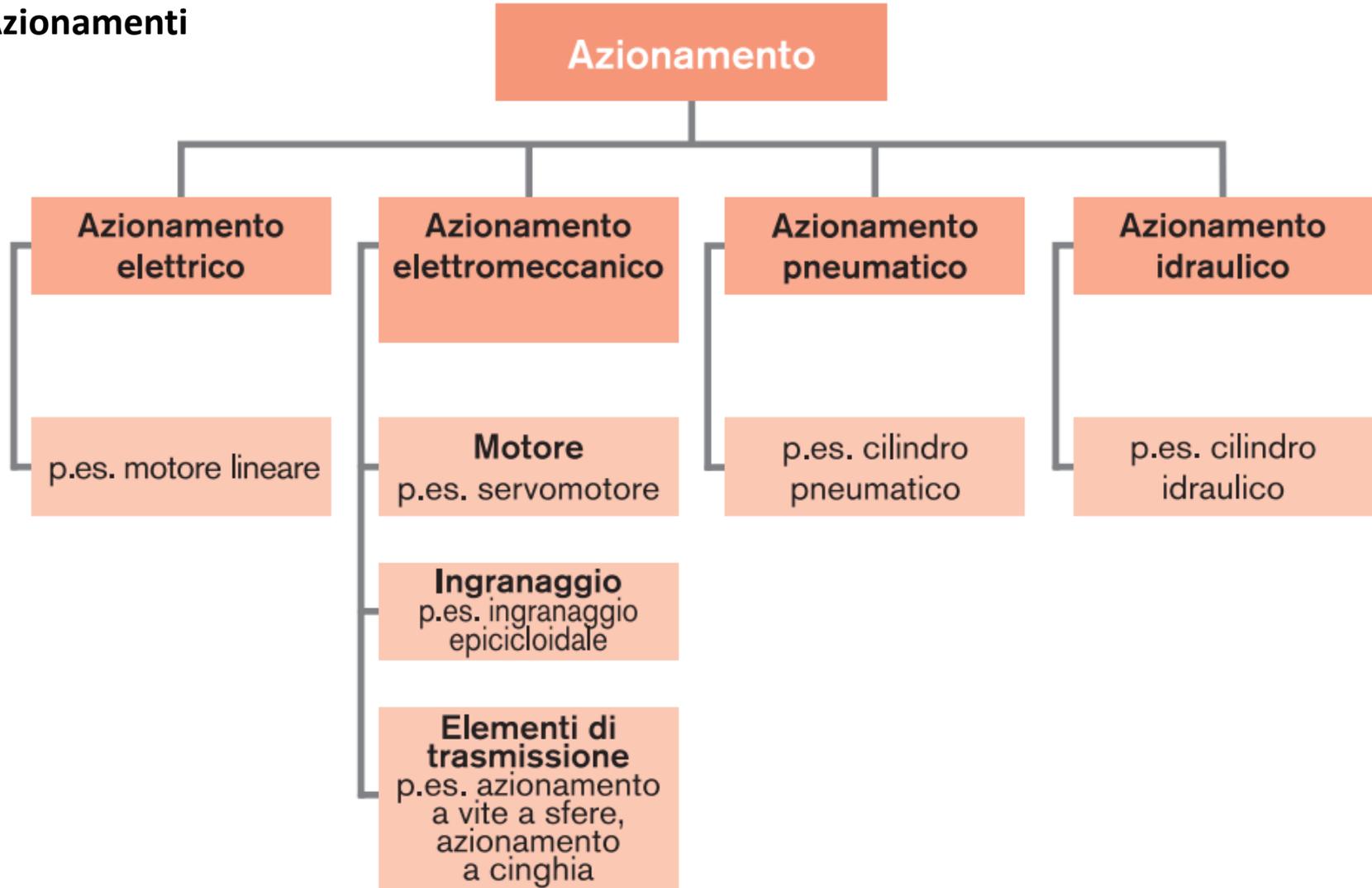
$$F_{pr} = X_{pr} \cdot C$$

$F_{pr}$	=	Forza di precarico del pattino	(N)
$X_{pr}$	=	Fattore della classe di precarico	(-)
$C$	=	Fattore di carico dinamico del pattino	(N)

# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuor – [nscuor@units.it](mailto:nscuor@units.it)

## Azionamenti



# Criteri per la progettazione di una MU

Nicola Scuur – [nscuur@units.it](mailto:nscuur@units.it)

## Azionamenti

