

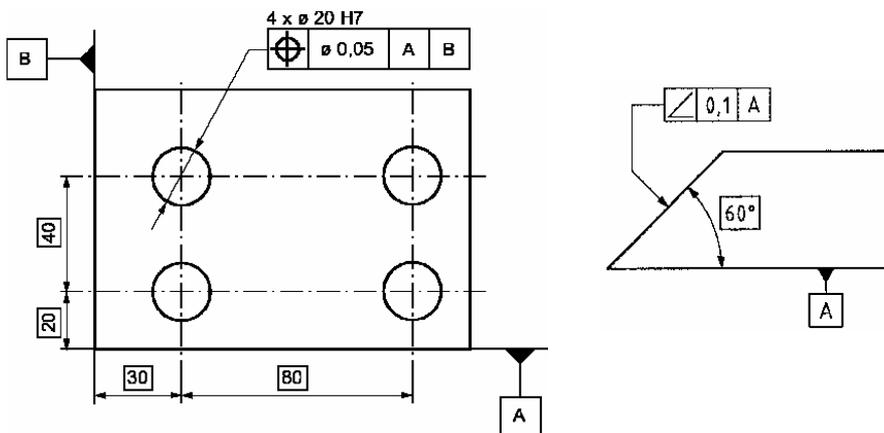
## Riferimenti, modificatori e calcolo delle tolleranze di localizzazione.

Docente: Gianmaria Concheri  
E-mail: gianmaria.concheri@unipd.it  
Tel. 049 8276739



### Dimensioni teoricamente esatte

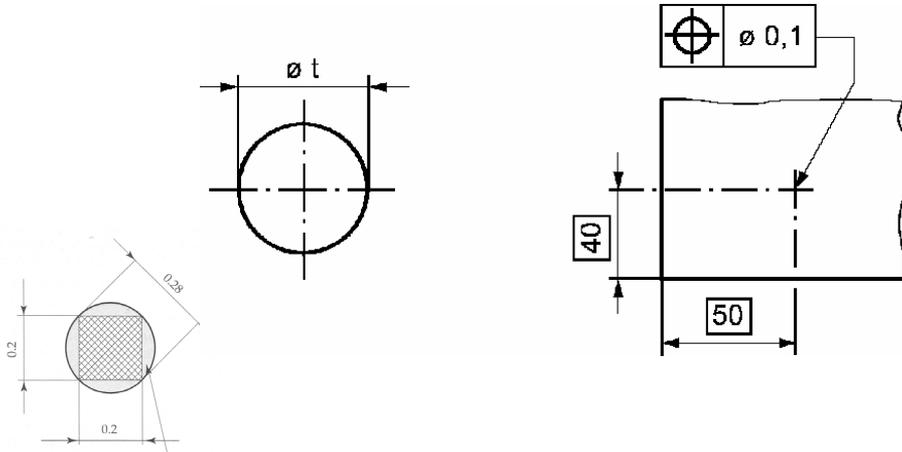
Dimensioni che determinano la posizione o l'orientazione teoricamente esatta degli elementi geometrici posti in tolleranza rispetto agli elementi di riferimento:



## Tolleranze geometriche

### LOCALIZZAZIONE (un punto)

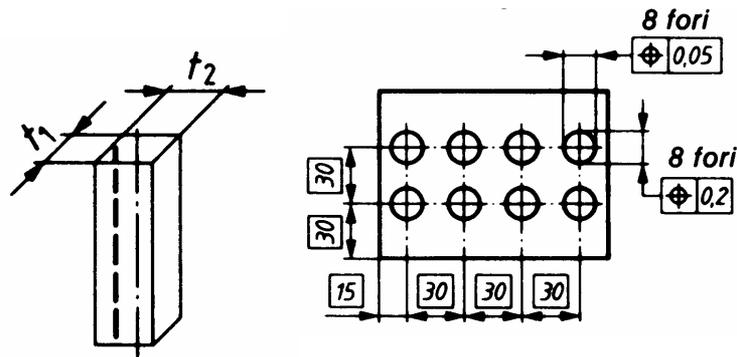
La zona di tolleranza è limitata da un cerchio di diametro  $t$  il cui centro è nella posizione teorica esatta del punto considerato.



## Tolleranze geometriche

### LOCALIZZAZIONE (una linea)

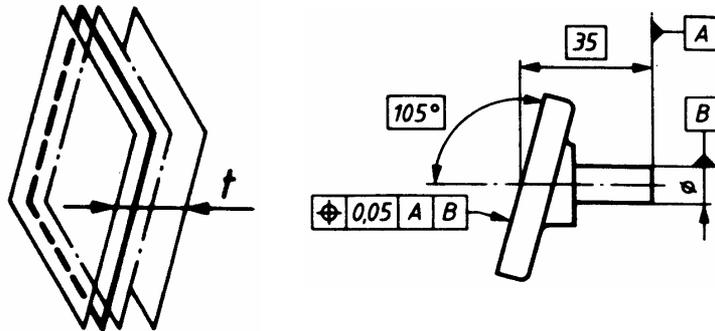
ESEMPIO: La zona di tolleranza è limitata da un parallelepipedo di sezione  $t_1 \times t_2$  il cui asse è nella posizione teorica esatta della linea considerata, se la tolleranza è prescritta in due direzioni perpendicolari tra di loro.



# Tolleranze geometriche

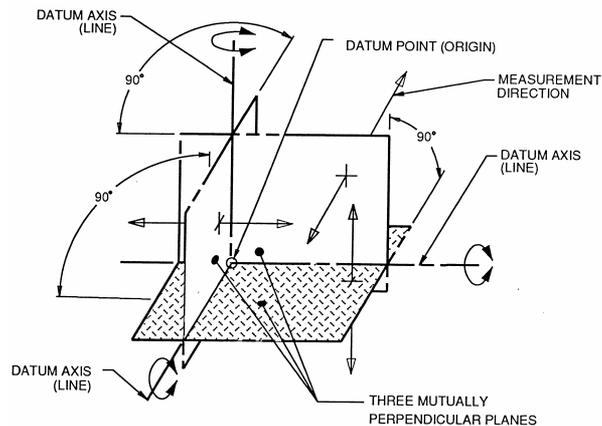
## LOCALIZZAZIONE (una superficie piana o un piano mediano)

La zona di tolleranza è limitata da due piani paralleli distanti  $t$  e disposti simmetricamente rispetto alla posizione teorica esatta della superficie considerata.



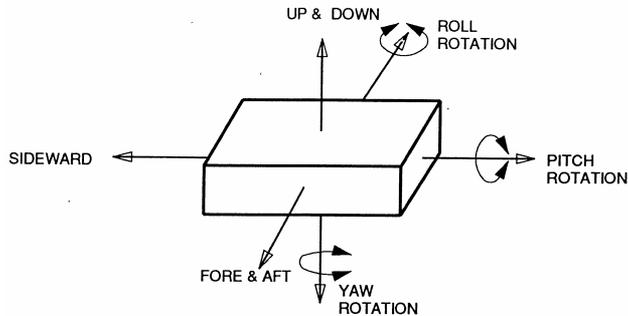
## Sistema di elementi di riferimento

- Il **Sistema di elementi di riferimento** o DRF (Datum Reference Frame) è la “struttura di riferimento” a cui sono collegate tutte le specificazioni: è condiviso tra progettazione, produzione e verifica
- Nel caso generale è equivalente ad un sistema di coordinate cartesiane
- È costituito da punti, rette e piani



## Sistema di elementi di riferimento

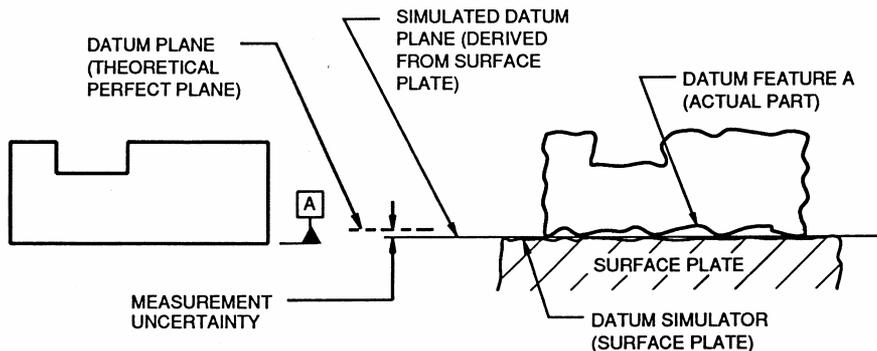
Un sistema di elementi di riferimento (DRF) permette di eliminare i 6 gradi di libertà di moto rigido di un componente.



## Sistema di elementi di riferimento

**Il DRF è ideale, perfetto. Le superfici reali non sono perfette.  
Come collegare un elemento reale ad un elemento ideale?**

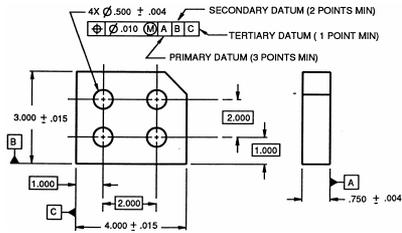
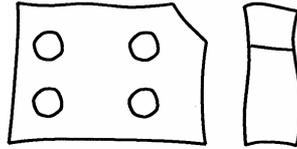
- Piano di riferimento  $\Rightarrow$  Datum plane
- Piano di riferimento simulato  $\Rightarrow$  Simulated datum plane
- Elemento di riferimento  $\Rightarrow$  Datum feature
- Simulatore di riferimento  $\Rightarrow$  Datum simulator



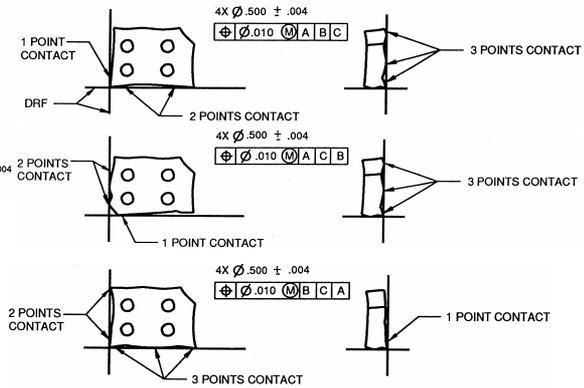
## Sistema di elementi di riferimento

Ogni oggetto reale è imperfetto:

E può essere posizionato e orientato in modo differente:



L'ordine dei riferimenti nel riquadro di tolleranza indica come il pezzo reale è montato nel DRF ideale



## Sistema di elementi di riferimento

La selezione dei riferimenti dipende dalla funzione del componente:

- Come viene collegato al resto dell'assieme?
- Quali sono i piani di riferimento utilizzabili?
- Qual'è il loro ordine di importanza relativa?

In genere vi possono essere più risposte differenti a queste domande.

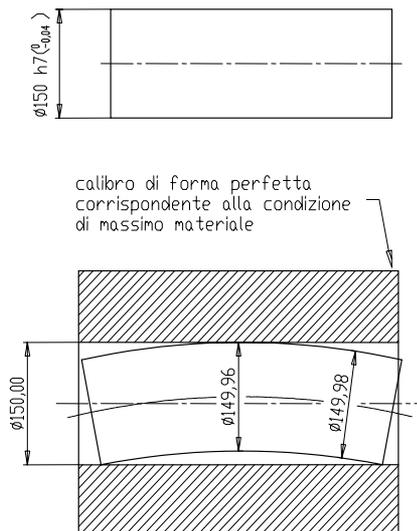


## I MODIFICATORI. Un po' di storia

**Principio di dipendenza** (sancito dalla ISO 1101/R:69 = UNI 7226/1:73):

«quando è prescritta solo una tolleranza dimensionale, questa limita anche alcuni errori di forma e di posizione. Le superfici reali del pezzo possono quindi scostarsi dalla forma geometrica prescritta a condizione che restino all'interno della tolleranza dimensionale. Se gli errori di forma devono trovarsi all'interno di altri limiti, deve essere prescritta la tolleranza di forma.»

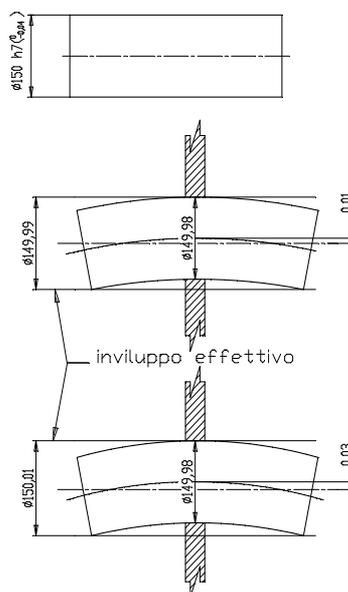
Coincide con la Rule #1 della norma ANSI Y14.5M e, in ambito ISO, con l'applicazione di default della "condizione di involuppo" a tutti gli elementi dimensionabili ("feature of size").



## Un po' di storia

### Controindicazioni legate all'uso del principio di dipendenza:

- il campo effettivamente utilizzabile per le variazioni delle dimensioni risulta ridotto rispetto a quanto apparentemente consentito sul disegno;
- prescrizione adeguata solo se applicata ad elementi destinati ad essere accoppiati, ma inutilmente restrittiva se applicata ad altri elementi geometrici;
- la verifica della condizione di involuppo richiede l'utilizzo di calibri funzionali specifici o l'adozione di procedure basate sull'uso di macchine di misura a coordinate (CMM) molto complesse (non è possibile usare calibri a corsoio);
- il principio di dipendenza limita esclusivamente gli errori di forma, ma non quelli di orientamento e posizione;
- l'applicazione di tale principio non sempre trova riscontro nelle effettive capacità di lavorazione delle officine meccaniche



Il principio di dipendenza è sparito nella revisione della ISO 1101:

Nella ISO 8015:86 è stato sancito il «**principio di indipendenza**» come principio fondamentale per l'assegnazione delle tolleranze:

**«ciascuna prescrizione dimensionale o geometrica specificata su di un disegno deve essere rispettata in se stessa (in modo indipendente), salvo non sia specificata una relazione particolare. Pertanto, in mancanza di indicazioni specifiche, la tolleranza geometrica si applica senza tener conto della dimensione dell'elemento e le due prescrizioni sono trattate come prescrizioni tra loro indipendenti. Così, se è richiesta una relazione particolare tra la dimensione e la forma, oppure la dimensione e l'orientamento, o la dimensione e la posizione, essa deve essere specificata sul disegno.»**

Purtroppo in calce alla UNI ISO 8015 si legge:

Nota nazionale - In mancanza di indicazioni specifiche di norme riguardanti i principi di attribuzione delle tolleranze o dei metodi di verifica delle stesse (=> **riferimento alla ISO 8015**), le tolleranze dimensionali possono limitare anche alcuni scostamenti di forma e/o di posizione. In questo caso le superfici reali del pezzo possono scostarsi dalla forma geometrica prescritta a condizione che restino all'interno delle tolleranze dimensionali (=> **vale il principio di dipendenza**).



---

### Indicazione di tolleranze non conformi alla ISO 8015 (secondo ISO 286-1:88)

**Ad oggi (in attesa della ISO 14405) di default vale il principio di dipendenza:**

**Comma 5.3.2 della ISO 286-1:88**

Le tolleranze dei pezzi fabbricati conformemente a disegni **senza indicazione di "Tolleranze secondo ISO 8015"** devono essere interpretati, per la dimensione in oggetto nel modo seguente:

- a) Fori: Il diametro del cilindro immaginario più grande possibile inscritto nel foro, a contatto con le creste della superficie, non deve essere più piccolo della dimensione nella condizione di massimo materiale. In nessuna porzione del foro il diametro massimo può superare la dimensione nella condizione di minimo materiale.
- b) Alberi: Il diametro del cilindro immaginario più piccolo possibile circoscritto all'albero, a contatto con le creste della superficie, non deve essere più grande della dimensione nelle condizioni di massimo materiale. In nessuna porzione dell'albero il diametro minimo può risultare minore della dimensione nella condizione di minimo materiale.

...  
Nota - In casi particolari, gli scostamenti di forma massimi ammessi nella interpretazione data in a) e b) possono risultare troppo grandi per permettere il buon funzionamento dei pezzi assemblati. In tal caso, le tolleranze di forma indicano separatamente, per esempio, tolleranza di circolarità e/o rettilineità (vedere ISO 1101).



## Esigenza di inviluppo

Se l'elemento dimensionabile è destinato ad un accoppiamento, è opportuno legare assieme i vincoli su dimensione e forma:

applico l'**ESIGENZA DI INVILUPPO**

Si applica alle quote degli elementi dimensionabili (feature of size)

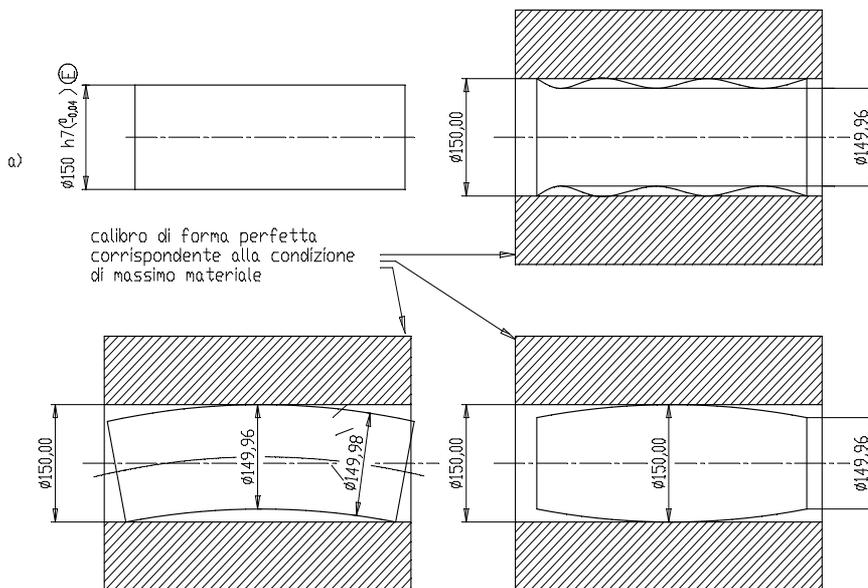
aggiungendo il simbolo  $\textcircled{E}$

Cosa significa:

- i punti sulla superficie dell'elemento cilindrico reale non devono superare l'inviluppo di forma perfetta alla dimensione di massimo materiale (MMC:  $\varnothing 150$  nell'esempio seguente);
  - nessuna dimensione locale deve risultare minore della dimensione di minimo materiale (LMC:  $\varnothing 149,96$  nell'esempio seguente);
- quindi ciascun diametro locale deve essere contenuto entro le dimensioni di  $\varnothing 150$  (MMC) e  $\varnothing 149,96$  (LMC) nel rispetto della tolleranza dimensionale (0,04 mm);
- quando tutti i diametri locali reali siano alla dimensione corrispondente alla condizione di massimo materiale (MMC:  $\varnothing 150$ ), l'albero deve essere perfettamente cilindrico.

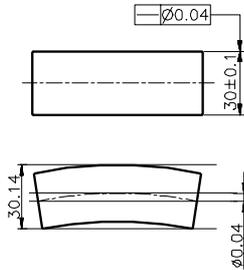


## Esigenza di inviluppo



### Applicazione del principio di indipendenza (ISO 8015):

= condizione RFS (Regardless of Feature Size) in ANSI Y14.5M:1994



Diametro	Tolleranza di rettilineità	Condizione virtuale
30,10	0,04	30,14
30,05	0,04	30,09
30,00	0,04	30,04
29,95	0,04	29,99
29,90	0,04	29,94

La tolleranza geometrica specificata è indipendente dalla dimensione effettiva dell'elemento considerato.



## Condizione di massimo materiale

Nel caso di accoppiamenti, il giuoco aumenta se le dimensioni effettive degli elementi si discostano dai limiti "di massimo materiale". Di conseguenza, le tolleranze di forma e di posizione possono essere ampliate, senza compromettere la possibilità di accoppiamento, quando le dimensioni effettive degli elementi da accoppiare non raggiungono i valori corrispondenti alla condizione di massimo materiale.

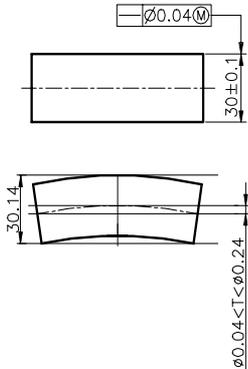
### Interpretazione:

L'aggiunta nel riquadro di tolleranza geometrica del simbolo  $\textcircled{M}$  dopo l'indicazione dell'ampiezza della zona di tolleranza ammissibile, significa che il valore di tolleranza geometrica indicato si applica quando l'elemento geometrico (e dimensionabile) a cui è attribuita tale tolleranza è realizzato nella sua condizione di massimo materiale (foro più piccolo e albero più grande). Se la dimensione effettiva dell'elemento geometrico considerato si scosta dalla sua condizione di massimo materiale, è consentito incrementare la zona di tolleranza geometrica di un'entità pari allo scostamento della dimensione effettiva dalla condizione di massimo materiale (MMC).



## Condizione di massimo materiale

Esempio:

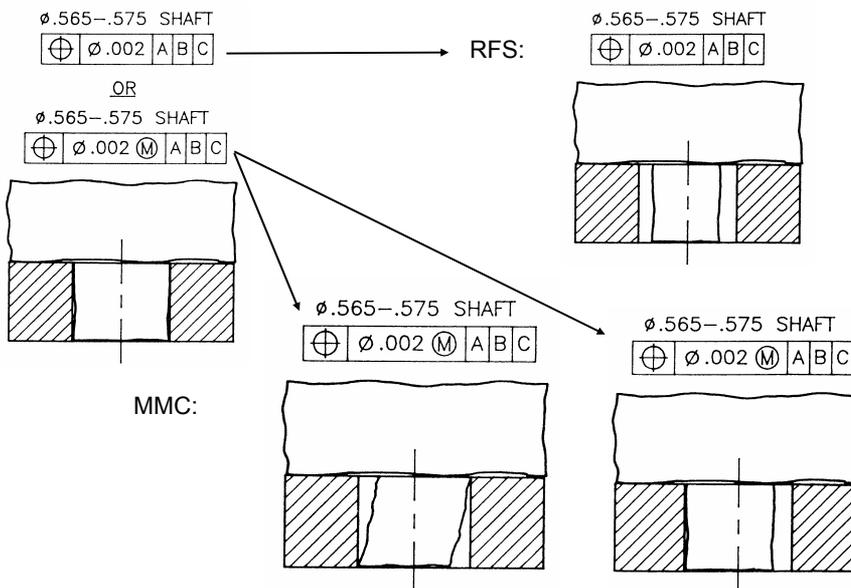


Diametro	Tolleranza di rettilineità	Condizione virtuale
30,1 (MMC)	0,04	30,14
30,05	0,09	30,14
30	0,14	30,14
29,95	0,19	30,14
29,9	0,24	30,14

Se la dimensione effettiva si scosta dal valore 30.1 (MMC), nell'ambito della tolleranza dimensionale, tale scostamento incrementa l'ampiezza della zona di tolleranza geometrica.

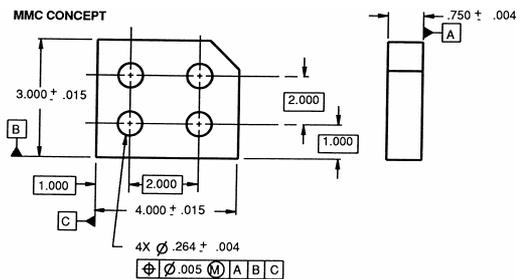


## Condizione di massimo materiale



## Condizione di massimo materiale

Altro esempio:



Diametro fori	Tolleranza di localizzazione ammissibile	Condizione virtuale
0,260 (MMC)	0,005	0,255
0,261	0,006	0,255
0,262	0,007	0,255
0,263	0,008	0,255
0,264	0,009	0,255
0,265	0,010	0,255
0,266	0,011	0,255
0,267	0,012	0,255
0,268	0,013	0,255

La condizione di massimo materiale si applica a ciascun foro separatamente, quindi la tolleranza di localizzazione ammissibile può essere diversa per ciascun foro, a seconda della dimensione effettiva di ciascuno.



## Condizione di massimo materiale

### Condizioni di applicabilità:

- 1) l'elemento al quale viene applicato la **MMC** deve essere un **elemento singolo dimensionabile (feature of size)** al quale è associata una **tolleranza dimensionale**;
- 2) la **MMC** può essere associata solo alle tolleranze geometriche indicate nella tabella di fianco;
- 3) se due o più elementi singoli sono intercorrelati rispetto ad una localizzazione o ad un orientamento, almeno una di queste singolarità dovrebbe rispettare le caratteristiche del punto 1.

Caratteristica geometrica	Applicabilità MMC
Rettilinearità	Solo se "features of size"
Planarità	no
Circolarità	no
Cilindricità	no
Forma di un profilo	no
Forma di una superficie	no
Parallelismo	Solo se "features of size"
Perpendicolarità	Solo se "features of size"
Inclinazione	Solo se "features of size"
Localizzazione	sì
Concentricità	Solo se "features of size"
Simmetria	sì
Oscillazione circolare	no
Oscillazione totale	no



**Vantaggi:**

economia nella produzione dovuta all'allargamento dei limiti delle tolleranze e alla riduzione degli scarti, potendosi accettare particolari che, sebbene presentino errori geometrici più ampi di quanto indicato nel riquadro delle tolleranze, in pratica offrono le stesse caratteristiche funzionali degli elementi eseguiti entro i limiti e sono quindi da ritenersi accettabili.

**Attenzione:**

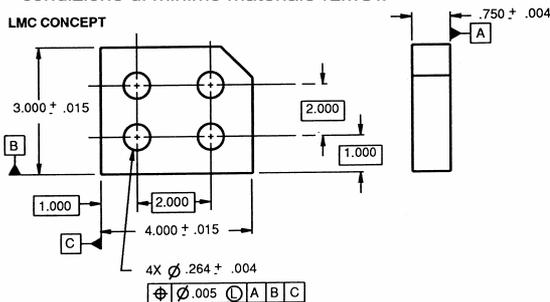
Il principio del massimo materiale risulta vantaggioso agli effetti della produzione, ma può risultare inammissibile per ragioni di ordine funzionale. L'aumento delle tolleranze di posizione può in genere essere accettato, ad esempio, per le distanze interassiali di fori per bulloni, spine, ecc., mentre risulta inammissibile per assi di ingranaggi, collegamenti cinematici, ecc.



Condizione di minimo materiale (LMC)

**Interpretazione:**

L'aggiunta nel riquadro di tolleranza geometrica del simbolo (L) dopo l'indicazione dell'ampiezza della zona di tolleranza ammissibile, significa che il valore di tolleranza geometrica indicato si applica quando l'elemento geometrico (e dimensionabile) a cui è attribuita tale tolleranza è realizzato nella sua condizione di minimo materiale (foro più grande e albero più piccolo). Se la dimensione effettiva dell'elemento geometrico considerato si scosta dalla sua condizione di minimo materiale, è consentito incrementare la zona di tolleranza geometrica di un'entità pari allo scostamento delle dimensione effettiva dalla condizione di minimo materiale (LMC).



Anche la condizione di minimo materiale si applica a ciascun foro separatamente.

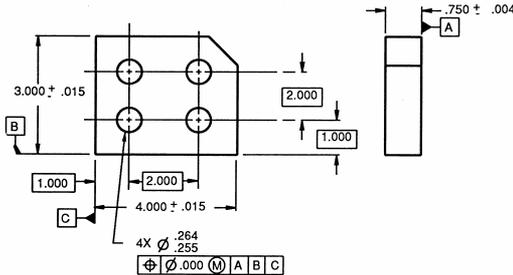
Diametro fori	Tolleranza di localizzazione ammissibile
0,268 (LMC)	0,005
0,267	0,006
0,266	0,007
0,265	0,008
0,264	0,009
0,263	0,010
0,262	0,011
0,261	0,012
0,260	0,013



## Modificatori associati alla prescrizione di tolleranza zero

È possibile individuare numerosi casi in cui è opportuno controllare elementi dimensionabili mediante una **tolleranza geometrica nulla**. Ovviamente, una tolleranza geometrica nulla **deve** essere associata ad un modificatore (MMC o LMC). In tal caso, l'entità della tolleranza geometrica ammissibile dipende totalmente dalla dimensione effettiva dell'elemento.

ZERO TOLERANCING AT MMC



Diametro fori	Tolleranza di localizzazione ammissibile	Condizione virtuale
0,255	0,000	0,255
0,256	0,001	0,255
0,257	0,002	0,255
0,258	0,003	0,255
0,259	0,004	0,255
0,260	0,005	0,255
0,261	0,006	0,255
0,262	0,007	0,255
0,263	0,008	0,255
0,264	0,009	0,255



## Utilizzo dei modificatori

Ma quando utilizzare i modificatori MMC e LMC ?

In ambito ANSI, in passato sembrava che qualunque elemento dovesse essere localizzato facendo riferimento alla sua condizione di massimo materiale (MMC), poiché risultava semplice realizzare un calibro funzionale.

Oggi si riconosce che questo approccio non è più accettabile:

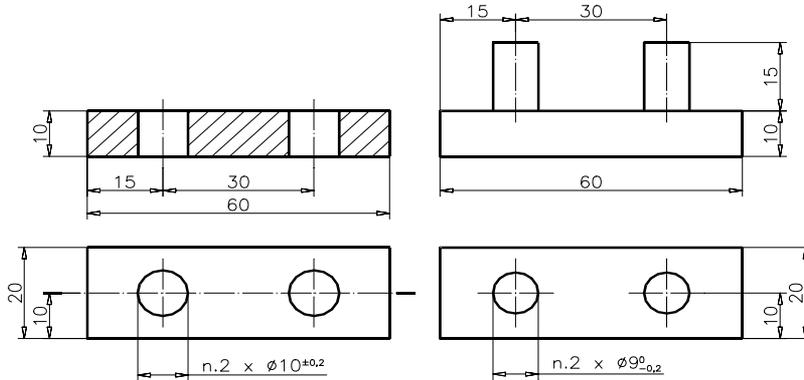
- il progettista deve definire la funzione del componente e considerare attentamente la specifica applicazione;
- oggi si utilizzano sempre più spesso macchine di misura a coordinate (CMM) e il progettista non deve progettare un componente pensando ad una specifica metodologia di controllo;
- la selezione dell'eventuale modificatore è determinata dalla funzione del componente.



## Calcolo delle tolleranze di localizzazione

### Requisito funzionale:

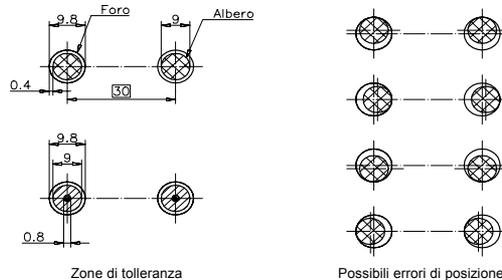
accoppiamento di una piastra con due fori e una piastra con due perni fissi



## Calcolo delle tolleranze di localizzazione

Situazione più critica per l'accoppiamento:

- **foro:** diametro minimo ( $\varnothing 9.8$ ) = condiz. di massimo materiale (MMC)
- **albero:** diametro massimo ( $\varnothing 9.0$ ) = MMC



**Massimo errore** nella posizione reciproca di fori e alberi compatibile con l'accoppiamento:

$$\Delta_{\text{foro}} + \Delta_{\text{albero}}: \varnothing_{\text{foro MMC}} - \varnothing_{\text{albero MMC}} = 9.8 - 9.0 = \mathbf{0.8 \text{ mm}}$$



## Calcolo delle tolleranze di localizzazione

Condizione per l'accoppiamento:

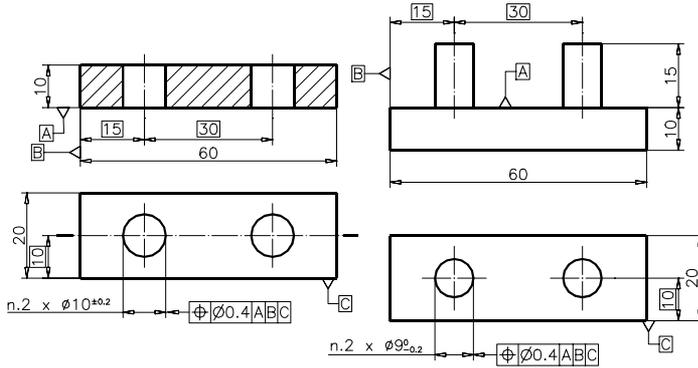
condizione virtuale foro  $\geq$  condizione virtuale albero

$$\varnothing_{\text{foro MMC}} - \text{toll}_{\text{foro}} \geq \varnothing_{\text{albero MMC}} + \text{toll}_{\text{albero}}$$

Si assuma:  $\text{Toll}_{\text{foro}} = \text{Toll}_{\text{albero}} = \text{Toll}$

Sostituendo:

$$\text{Toll} = (\varnothing_{\text{foro MMC}} - \varnothing_{\text{albero MMC}}) / 2 = (9.8 - 9.0) / 2 = 0.4 \text{ mm}$$

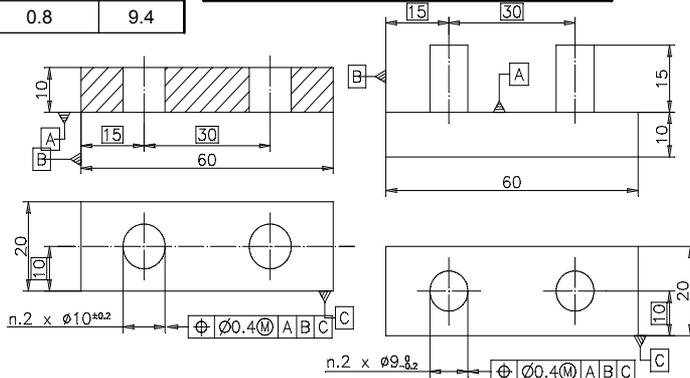


## Calcolo delle tolleranze di localizzazione

Se aggiungo la condizione di massimo materiale (M) :

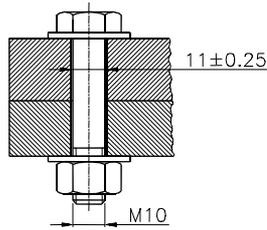
$\varnothing$ foro	Bonus foro	tolleranza ammissibile	Cond. Virt.
9.8 (MMC)	0.0	0.4	9.4
9.9	0.1	0.5	9.4
10.0	0.2	0.6	9.4
10.2	0.4	0.8	9.4

$\varnothing$ albero	Bonus albero	tolleranza ammissibile	Condizione virtuale
9.0 (MMC)	0.0	0.4	9.4
8.9	0.1	0.5	9.4
8.8	0.2	0.6	9.4

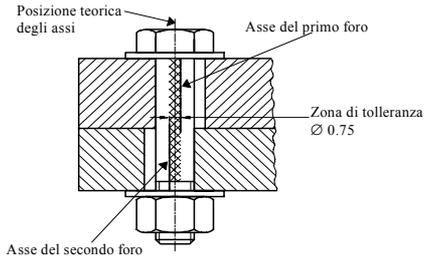


## Calcolo delle tolleranze di localizzazione

Collegamento mediante bulloni:



Tolleranze ripartite equamente sulle 2 piastre



Per ogni foro:

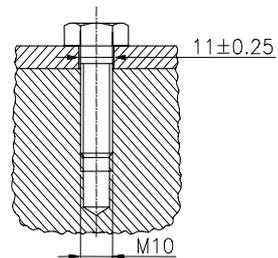
$$\text{Toll} = \varnothing_{\text{foro MMC}} - \varnothing_{\text{nominale vite}}$$

$$\text{Toll} = 10.75 - 10 = 0.75 \text{ mm}$$

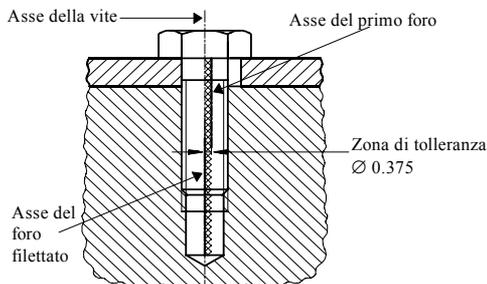


## Calcolo delle tolleranze di localizzazione

Collegamento di due piastre con viti mordenti:



Tolleranze ripartite equamente sulle 2 piastre:



Per ogni foro:

$$\text{Toll} = \frac{\varnothing_{\text{foro MMC}} - \varnothing_{\text{nominale vite}}}{2}$$

$$\text{Toll} = (10.75 - 10) / 2 = 0.375 \text{ mm}$$

