



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

Ingegneria dell'Innovazione del Prodotto

A.A. 2022/23

**Metodi di rappresentazione tecnica e CAD**

# **Lezione 2**

## **Introduzione al CAD**

### **e alla modellazione geometrica**

## Lezione 2:

- ✓ Cosa è il CAD
- ✓ Schemi di modellazione geometrica
- ✓ Modellazione Feature-based
- ✓ Proprietà dei modelli
- ✓ Digital Product Definition

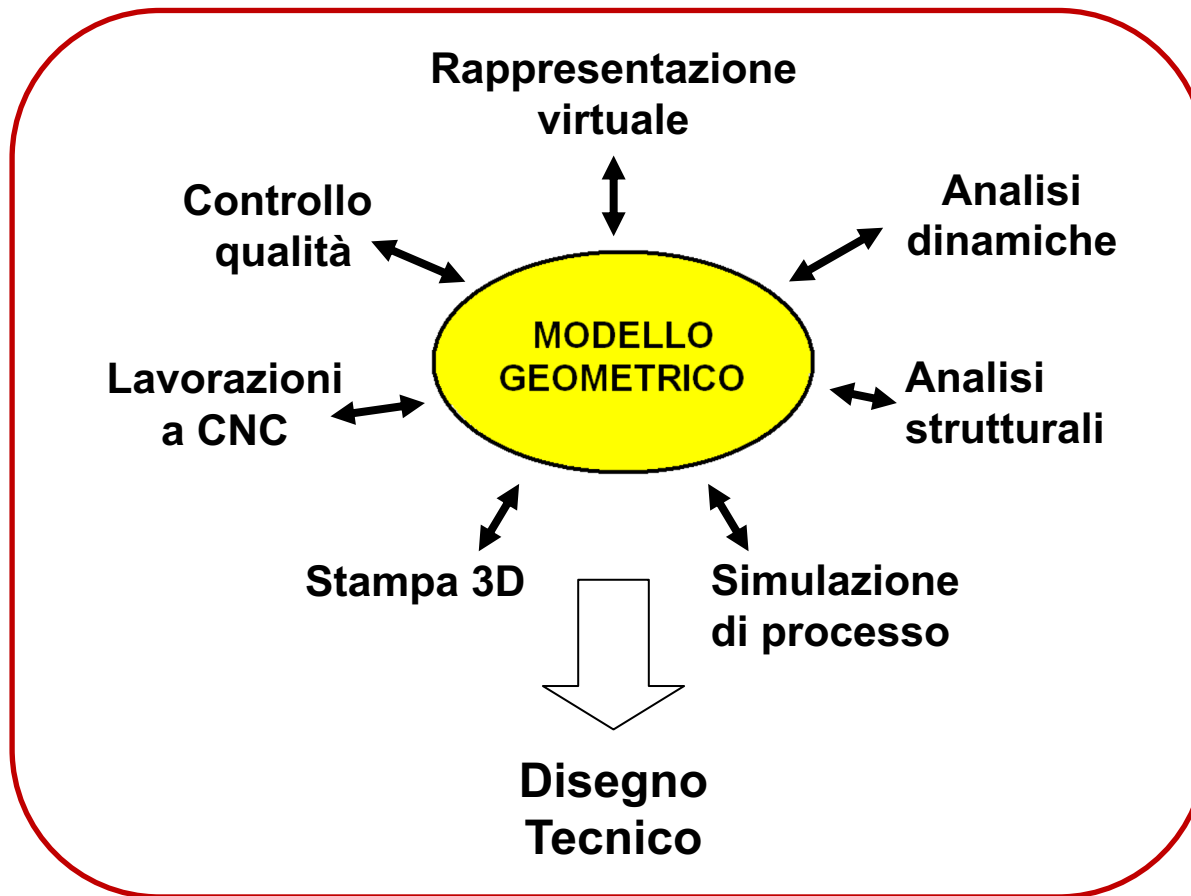
---

## Cosa è il CAD



# CAD (Computer-Aided Design): definizione

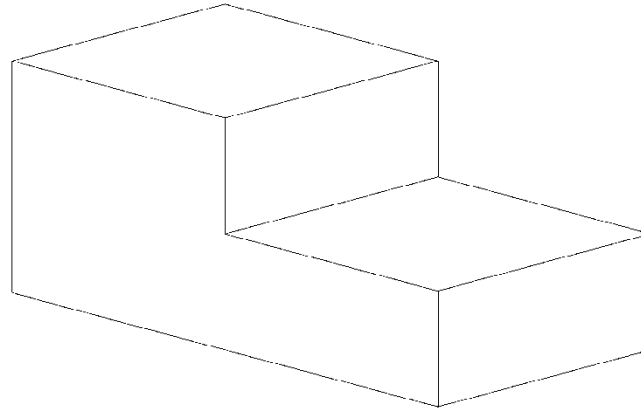
È uno **strumento** che supporta l'attività di progettazione (design) permettendo di **creare, modificare, analizzare** e **ottimizzare modelli geometrici** «virtuali».



Definizioni  
*Digital Mock-Up*  
(DMU)  
[https://it.wikipedia.org/wiki/Prototipazione\\_digitale](https://it.wikipedia.org/wiki/Prototipazione_digitale)

# CAD: proprietà fondamentali del modello geometrico

---



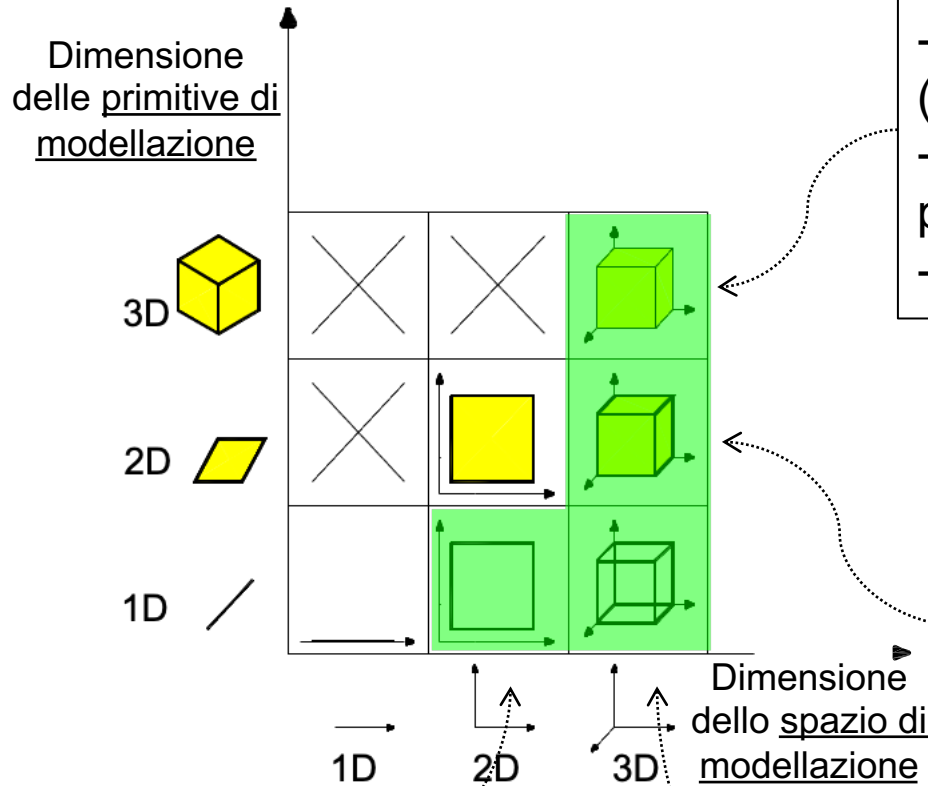
- I. Un modello CAD contiene solo le **informazioni rilevanti per lo scopo previsto** e che, pertanto, sono state inserite dal progettista;
- II. Un modello CAD non può permettere di indagare aspetti non previsti nella fase di creazione;
- III. Per indagare aspetti differenti, possono essere quindi necessari modelli differenti.

---

## Schemi di modellazione geometrica



# Schemi di modellazione geometrica



Modellazioni “costruttive” :

- Constructive Solid Geometry (**CSG**)
- “**Sweeping**” e “**Blending**” di profili piani
- **Form features**

Modellazione della frontiera topologica (2): **Boundary Representation (B-Rep)**

- modelli poliedrici (facce piane)
- superfici regolari (cilindri, coni, sfere, piani, ecc.)
- superfici di forma qualsiasi

Modellazione mediante **Proiezioni Ortogonali**

Modellazione della frontiera topologica (1): **Wireframe**

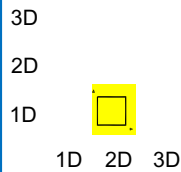
---

## Schema di modellazione 2D

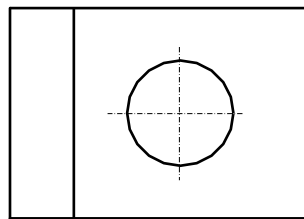
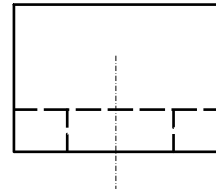
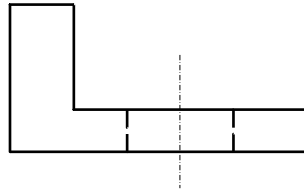




# Schema di modellazione mediante PROIEZIONI ORTOGONALI



Il solido 3D è descritto mediante più “ viste ” 2D,  
a loro volta descritte mediante spigoli o contorni (linee) e i  
relativi vertici.



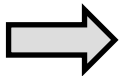
## Vantaggi:

- Rappresentazione di facile esecuzione.
- Consente un facile ottenimento di informazioni **dimensionali ed angolari** per le superfici parallele ai piani di proiezione

## Svantaggi:

Non fornisce una rappresentazione 3D diretta dell'oggetto:

- l'interpretazione della geometria 3D è lasciata a chi legge il disegno.
- Non consente una interpretazione 3D di oggetti complessi
- Lo strumento CAD non è in grado di calcolare le proprietà di massa: aree, volumi e baricentri
- Non esiste una rappresentazione unica di un oggetto

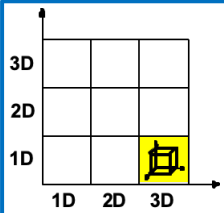


---

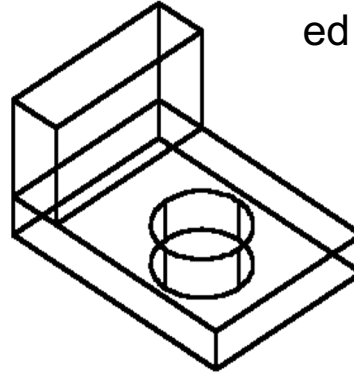
## Schema di modellazione 3D WIREFRAME



# Schema di modellazione WIREFRAME



Il solido 3D è descritto dall'insieme dei soli spigoli e/o contorni in 3D ed i relativi vertici.

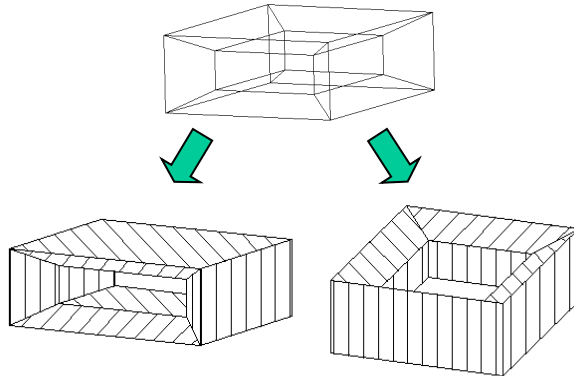


## Vantaggi:

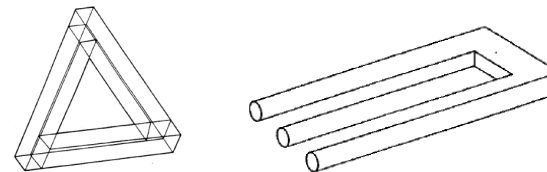
- È facile visualizzare e manipolare il solido

**Svantaggi:** Schema ambiguo

Consente interpretazioni non univoche



Permette la generazione di modelli irreali



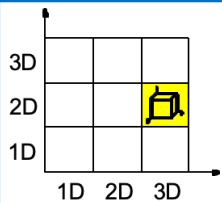
Lo strumento CAD non è in grado di calcolare le proprietà di massa: aree, volumi e baricentri

---

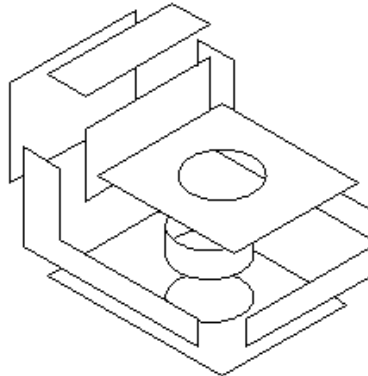
## Schema di modellazione 3D B-REP



# Schema di modellazione B-REP (Boundary Representation)



Il solido 3D è descritto dalle facce che lo delimitano e dai relativi spigoli e vertici.



Le facce possono essere:

- piane (modelli poliedrici);
- curve (modelli per superfici).

## Vantaggi:

- È facile visualizzare e manipolare il solido
- È semplice calcolare le proprietà geometriche del solido (volume, baricentri, ecc.)
- È facile ottenere informazioni sulle singole parti e sulle relazioni reciproche tra le parti.

## Svantaggi:

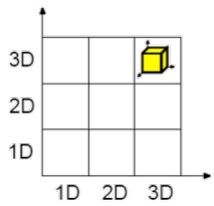
- Richiede una notevole occupazione di memoria;
- Il modello non conserva la storia della procedura di modellazione;
- Non esiste una rappresentazione unica di un oggetto

---

## Schema di modellazione 3D CSG



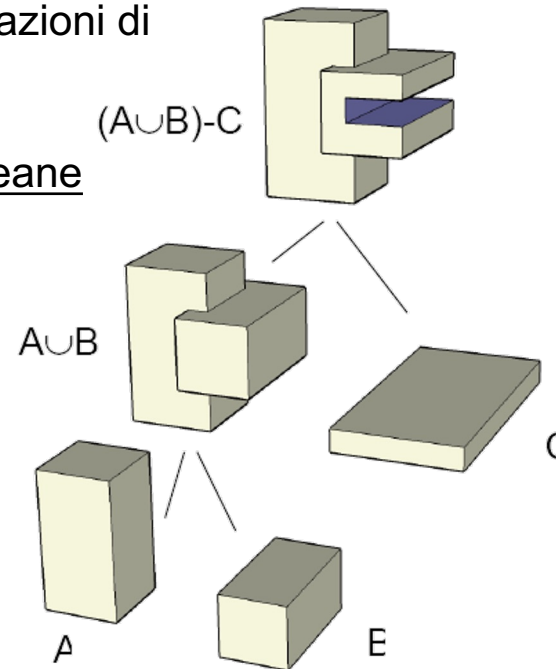
# Schema di modellazione “CSG - Constructive Solid Geometry”



Il solido 3D è descritto come:

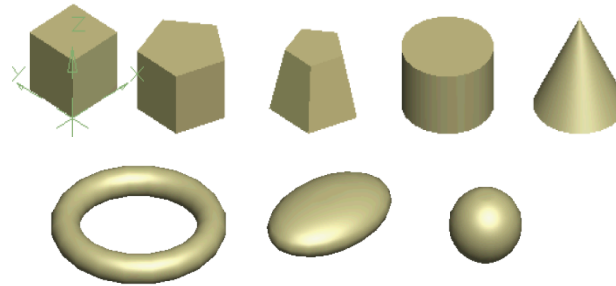
- i. composizione (operazioni booleane)
- ii. di «istanze parametrizzate» di solidi primitivi (parallelepipedi, cilindri, coni, ecc.)
- iii. posizionate nello spazio (operazioni di roto-traslazione)
- iv. sottoposte ad operazioni booleane

Il modello è detto “**non valutato**” in quanto non contiene informazioni su vertici, spigoli o facce del nuovo solido ma è descritto dalla sequenza di operazioni di costruzione.

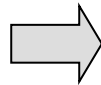
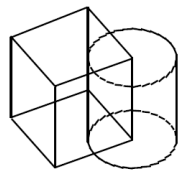


# Schema di modellazione “CSG - Constructive Solid Geometry”

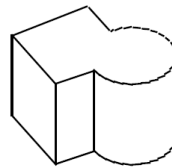
## Solidi primitivi



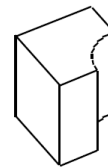
## Operazioni booleane



UNIONE



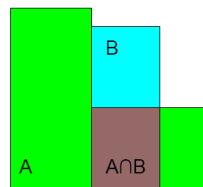
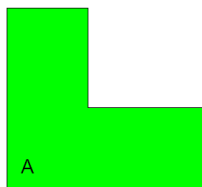
DIFFERENZA



INTERSEZIONE



## Operatori booleani regolarizzati



Intersezione Teorica



$$C = A \cap B$$

Intersezione Regolare



$$C^* = A \cap^* B$$

L'operazione booleana può generare situazioni degeneri; gli operatori booleani regolarizzati consentono di ottenere risultati dimensionalmente omogenei ai componenti originali.



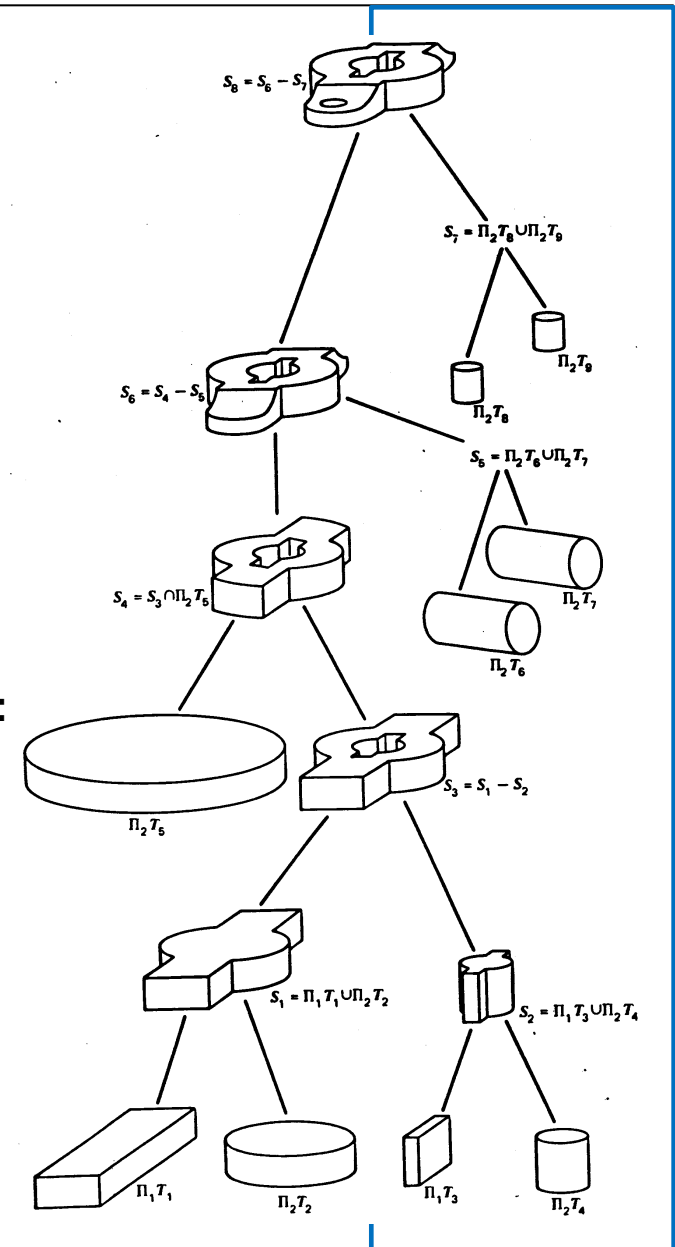
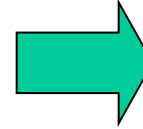
# Schema di modellazione “CSG - Constructive Solid Geometry”

## Esempio di “albero” CSG:

$T_i$  = solidi primitivi

$P_i$  = trasformazioni (rototraslazioni)

$S_i$  = solidi derivati



## Esempio di non unicità degli schemi CSG:

$S_2$  si sposta da  $S_3 = S_1 - S_2$

a  $S_3 = S_1$  (no foratura) a  $S_9 = S_8 - S_2$

# Schema di modellazione “CSG - Constructive Solid Geometry”

---

**Osservazione:** il modello è “non valutato”

## Vantaggi:

- Il modello è intrinsecamente parametrico.

## Svantaggi:

- stimare direttamente le proprietà geometriche (volume, baricentri, ecc.) è molto laborioso (meglio passare per un modello valutato);
- non è possibile visualizzare direttamente un modello CSG (bisogna prima valutarlo);
- non esiste una sequenza unica per rappresentare un oggetto;
- non è possibile verificare la identità/differenza di due oggetti in base ai loro modelli CSG.

---

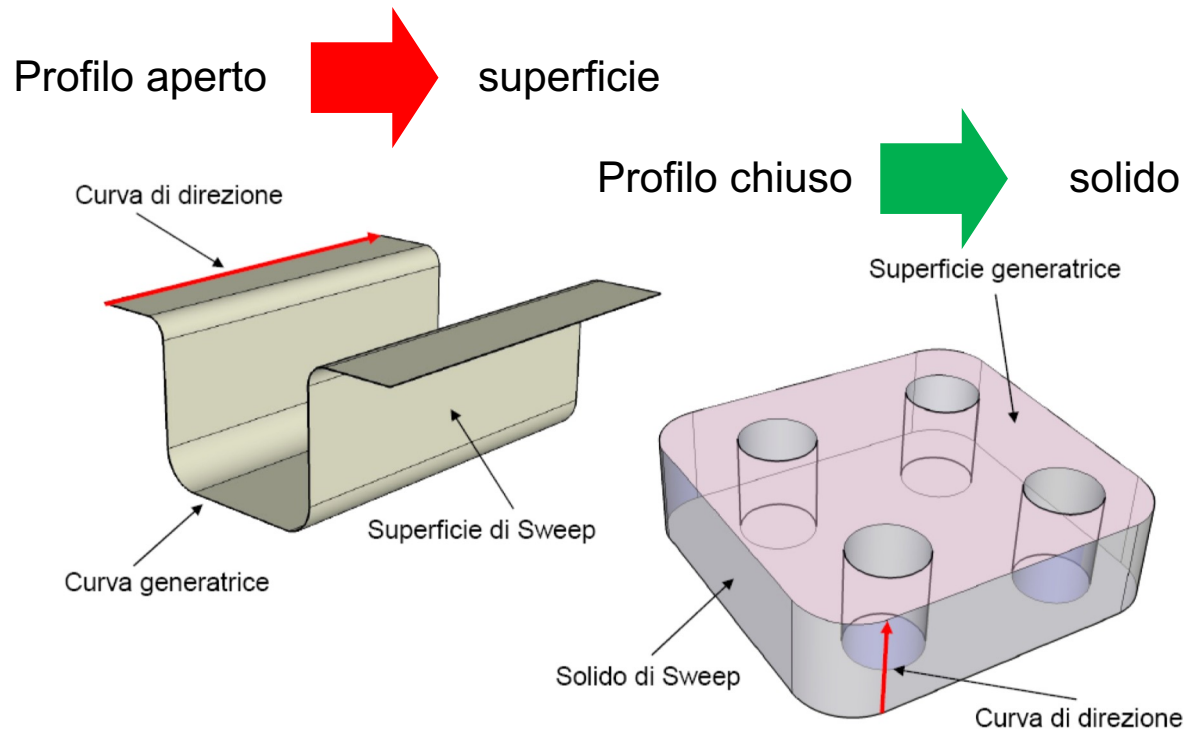
## Sweeping e lofting



# Schema di modellazione mediante SWEEP

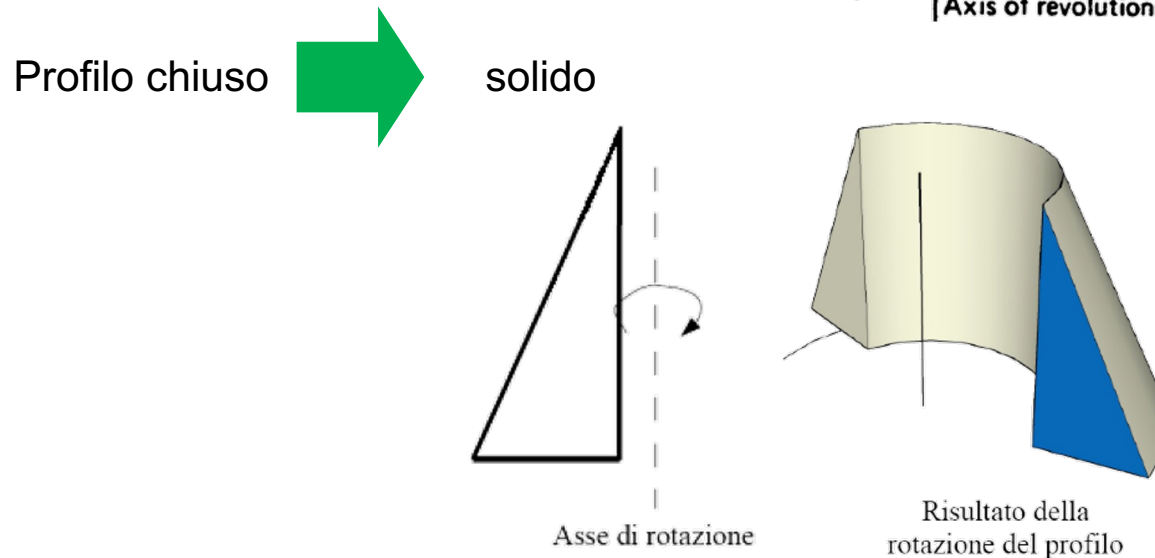
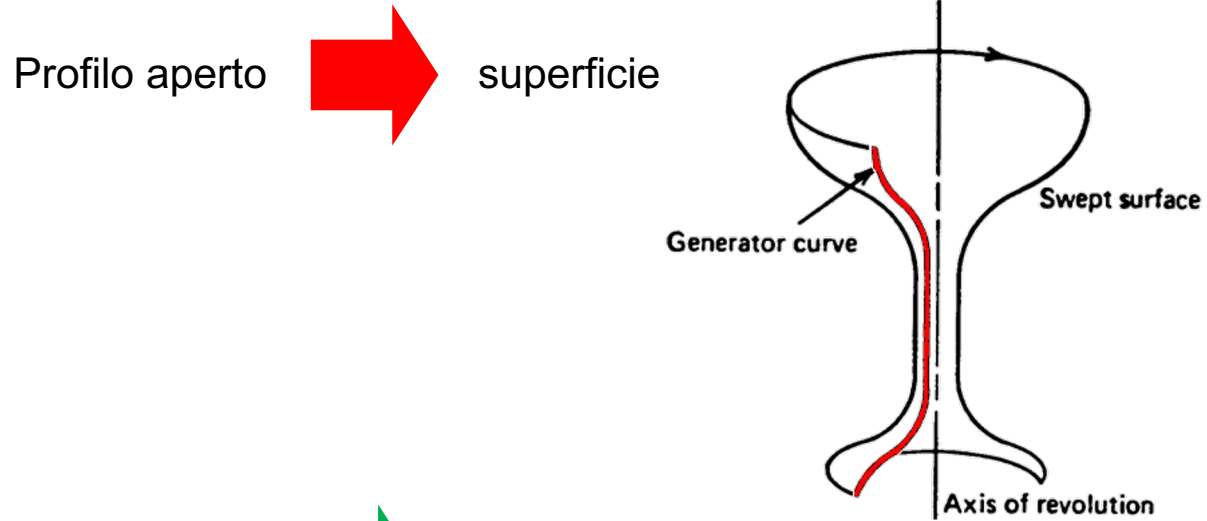
Superficie 3D o solido 3D di SWEEPING: elemento geometrico ottenuto mediante l'operazione con cui una **curva o una sezione** (generatrice) viene **spostata lungo una direttrice o ruotata attorno ad un asse**

- **Estrusione:** la traiettoria è ortogonale alla curva/sezione



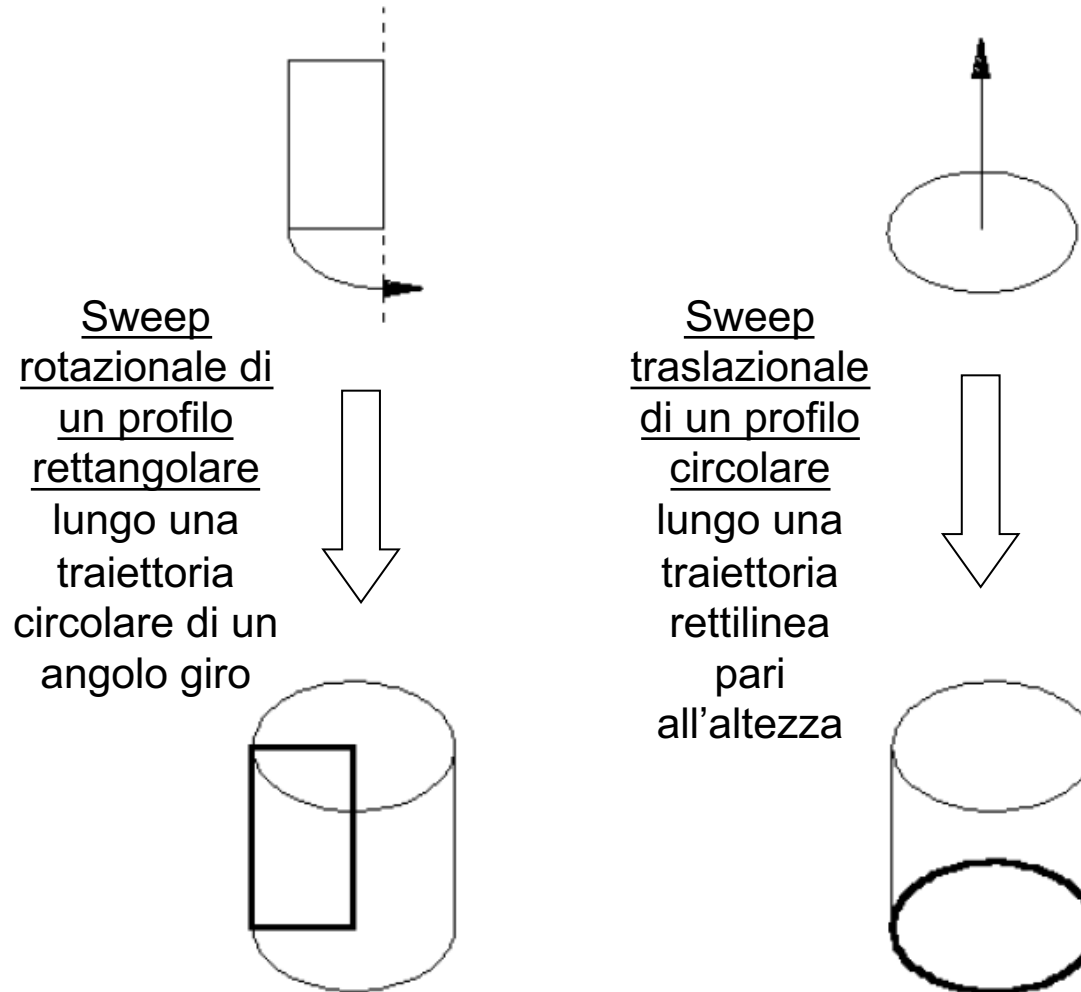
# Schema di modellazione mediante SWEEP

- **Rivoluzione:** traiettoria è un arco di circonferenza



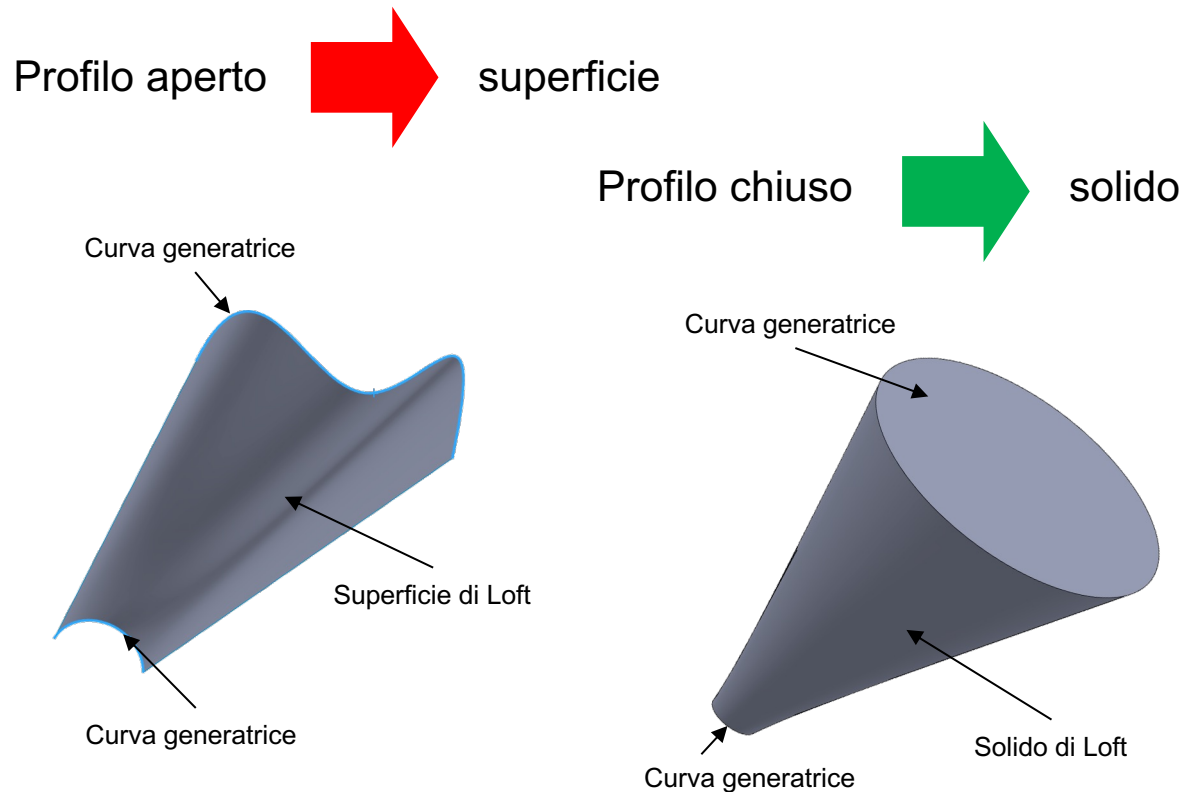
# Schema di modellazione mediante SWEEP

## Non unicità dei modelli generati mediante sweeping



# Schema di modellazione mediante LOFT

Superficie 3D o solido 3D di LOFT: elemento geometrico ottenuto mediante l'operazione con cui due o più **curve o sezioni** (generatrici) vengono connesse da una superficie (aperta o chiusa) continua.



---

## Schema di Modellazione 3D FEATURE-BASED





# Modellazione FEATURE-BASED

---

Limiti degli schemi di modellazione descritti finora:

- permettono di descrivere solo la geometria
- presentano un limitato livello di astrazione
- ambiente di modellazione “povero”

## Non favoriscono l'integrazione CAD – CAE – CAM

Descrizione non solo della geometria, ma anche:

- delle relazioni tra entità
- di informazioni sulla funzione della geometria
- delle regole che guidano la fabbricazione della geometria

Il tutto in un ambiente che permetta di operare ad un livello di astrazione più elevato e più vicino all'intento del progettista

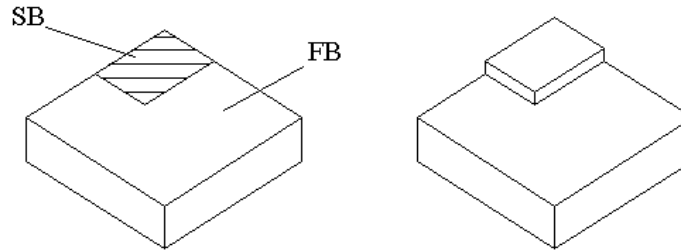


FORM FEATURE

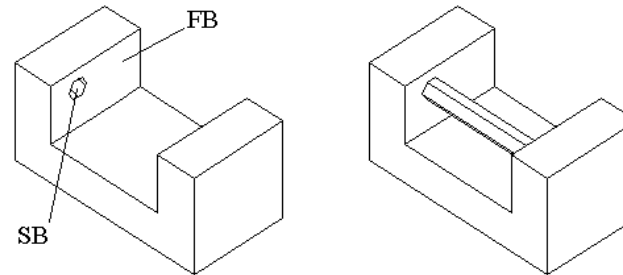
# Modellazione FEATURE-BASED

## FORM FEATURE:

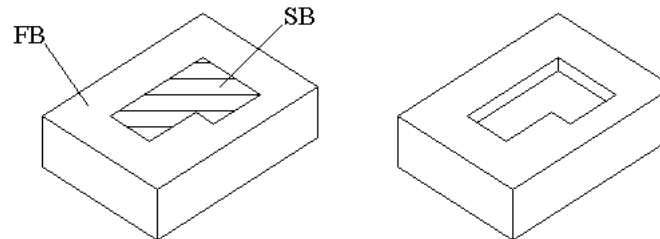
PROTRUSIONE  
semplice  
*Extrusion*



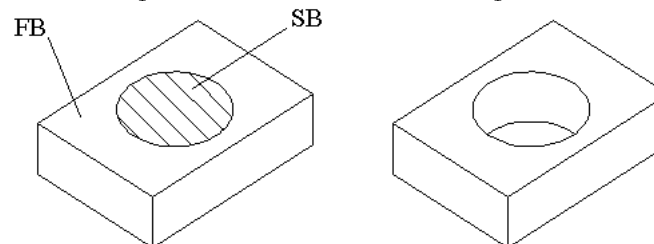
PONTE  
*bridge*



TASCA  
*pocket*



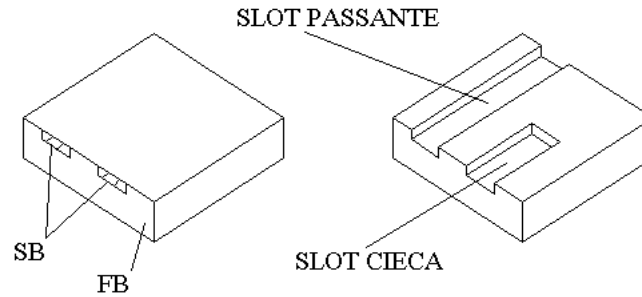
FORO  
*hole*



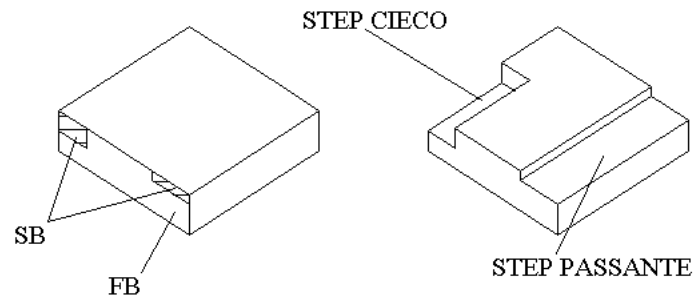
# Modellazione FEATURE-BASED

## FORM FEATURE:

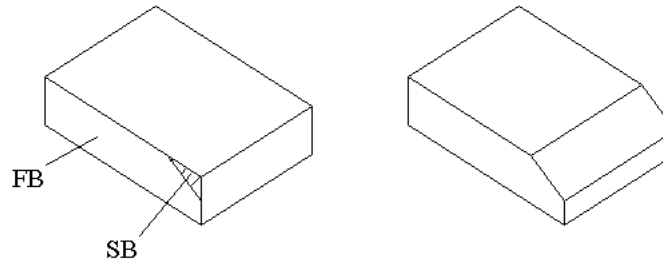
CAVA  
*slot*



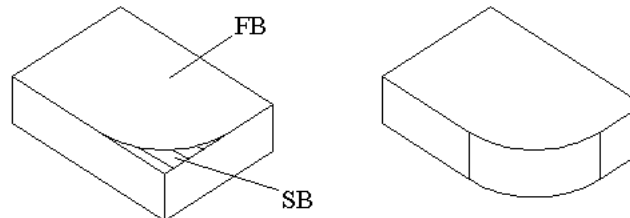
GRADINO  
*step*



SMUSSO  
*chamfer*



RACCORDO  
*round*



---

## Schema di modellazione 3D INTEGRATO



# Schema integrato di RAPPRESENTAZIONE

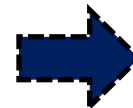
Integrazione tra schemi di modellazione nei moderni sistemi CAD 3D:

- Schema di base: **CSG**
- Utilizza primitive generate mediante: **SWEEPING / BLENDING**
- Mantiene parallelamente uno schema **B-Rep** per visualizzazioni e valutazioni

Sweeping



CSG



B-Rep

Blending



Caratteristiche dei principali strumenti di modellazione solida

- **Feature-based**
- **Parametricità**
- **Associatività**

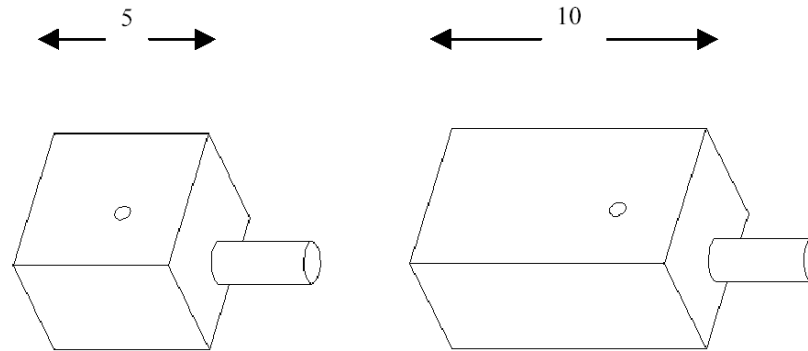
---

## Proprietà degli strumenti di modellazione solida



## Relazioni parametriche

La geometria del modello è controllata dalle dimensioni caratteristiche di ogni feature; ogni dimensione è controllata da un parametro.



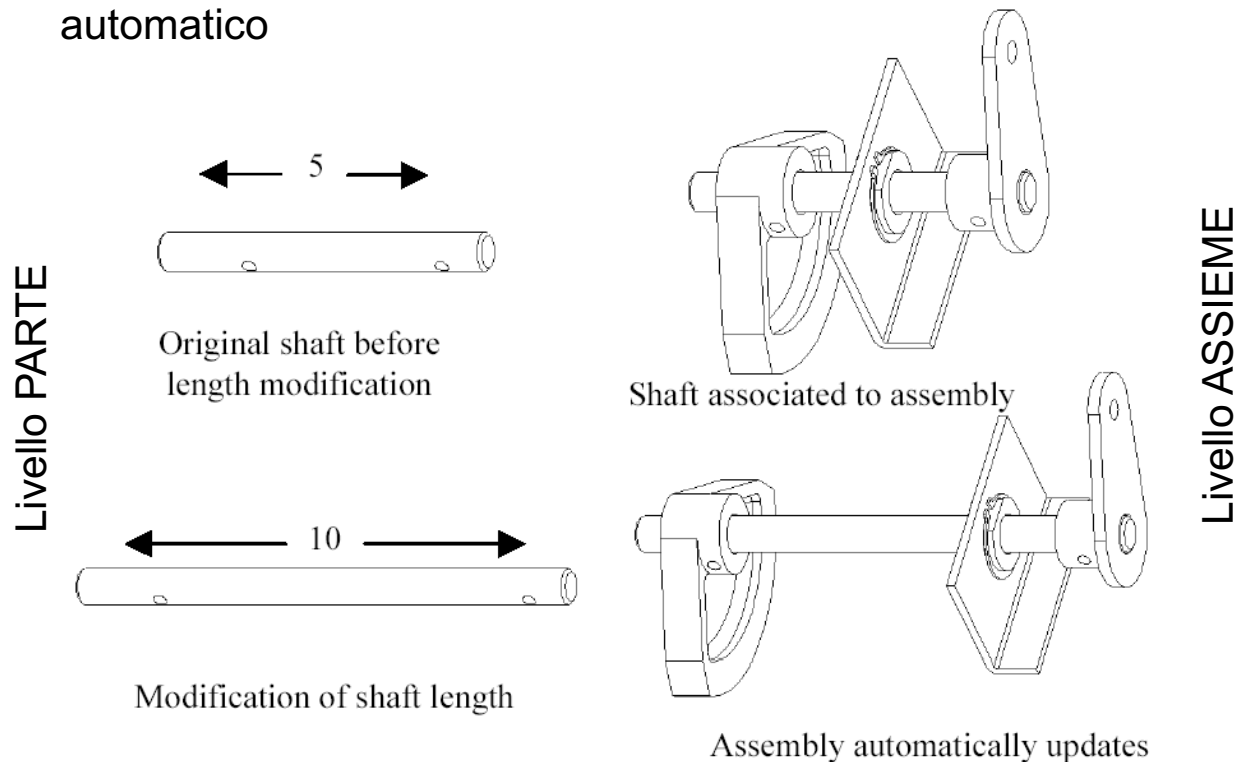
## Vantaggi:

- modificare il valore di una dimensione per modificare la geometria;
- mettere in relazione tra loro i parametri di una stessa feature;
- mettere in relazione tra loro i parametri di feature diverse;
- sviluppare relazioni padre-figlio (es. superficie laterale dx-foro)

# Associatività

La realizzazione di un modello tecnico prevede la realizzazione di parti, assiemi e tavole (i.e. livelli di modellazione).

L'associatività consente alle modifiche effettuate ad un livello del modello di propagarsi a tutti gli altri in modo automatico





---

# Digital Product Definition



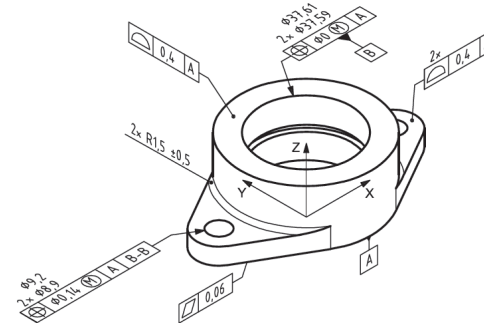
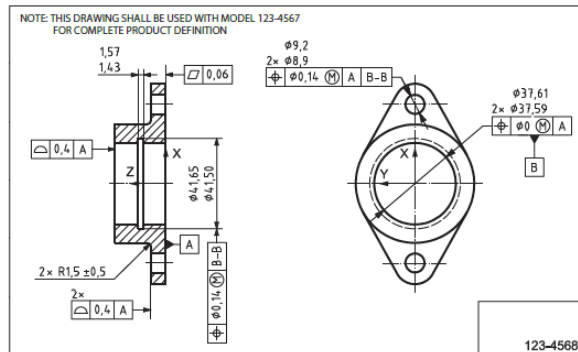
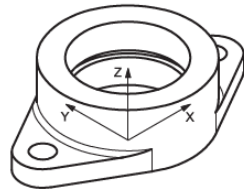
# La norma ISO 16792

ieri (e OGGI)

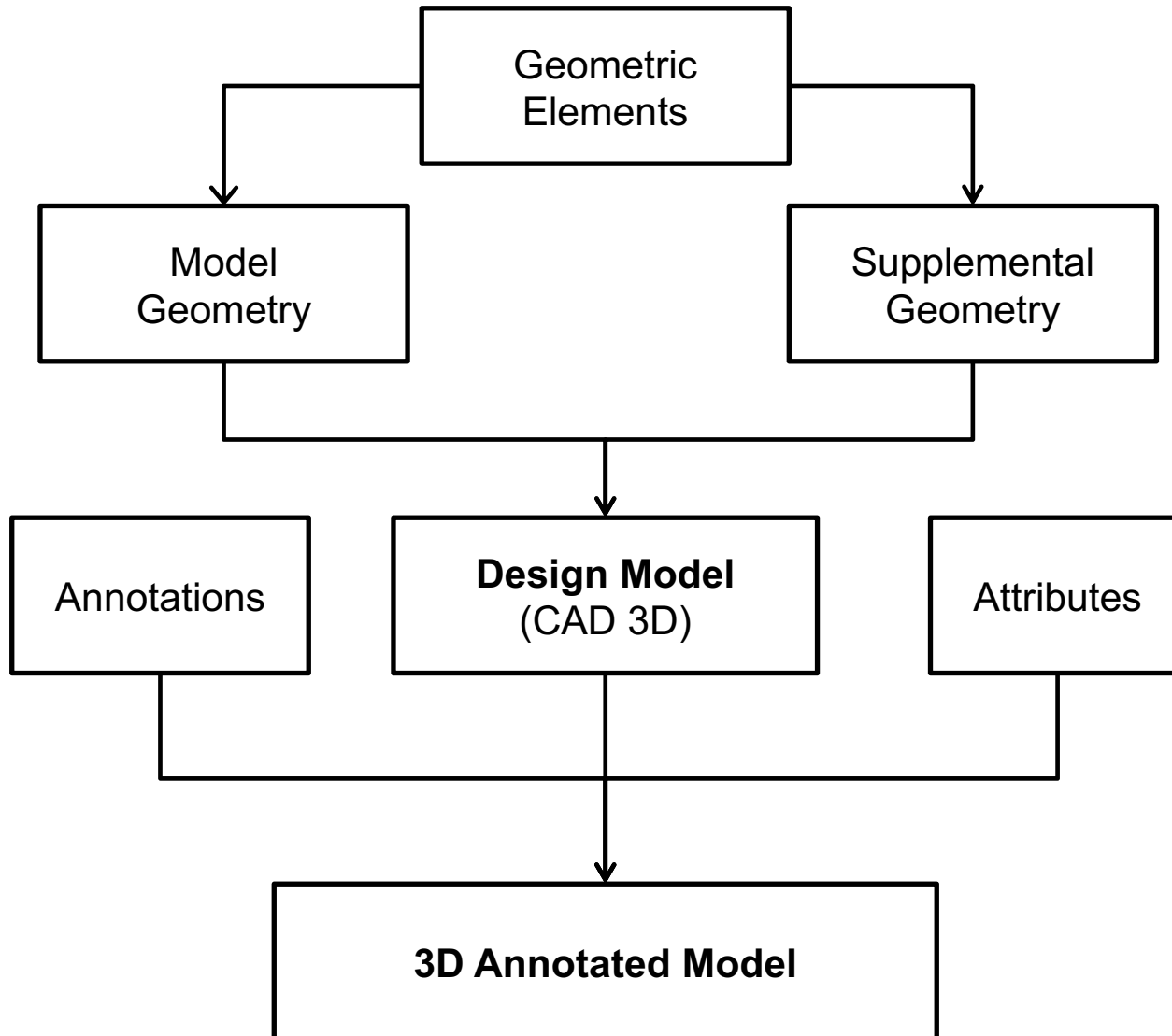
(domani)

Design model  
+  
engineering drawing

3D Annotated Model



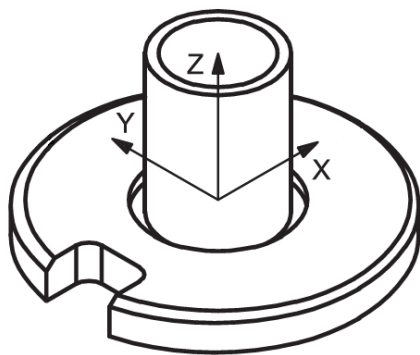
# 3D Annotated Model



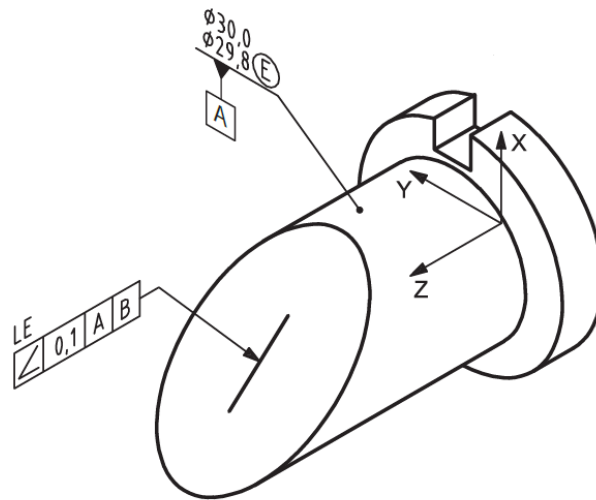
# 3D Annotated Model

## Design Model

Model Geometry  
+  
Datum application



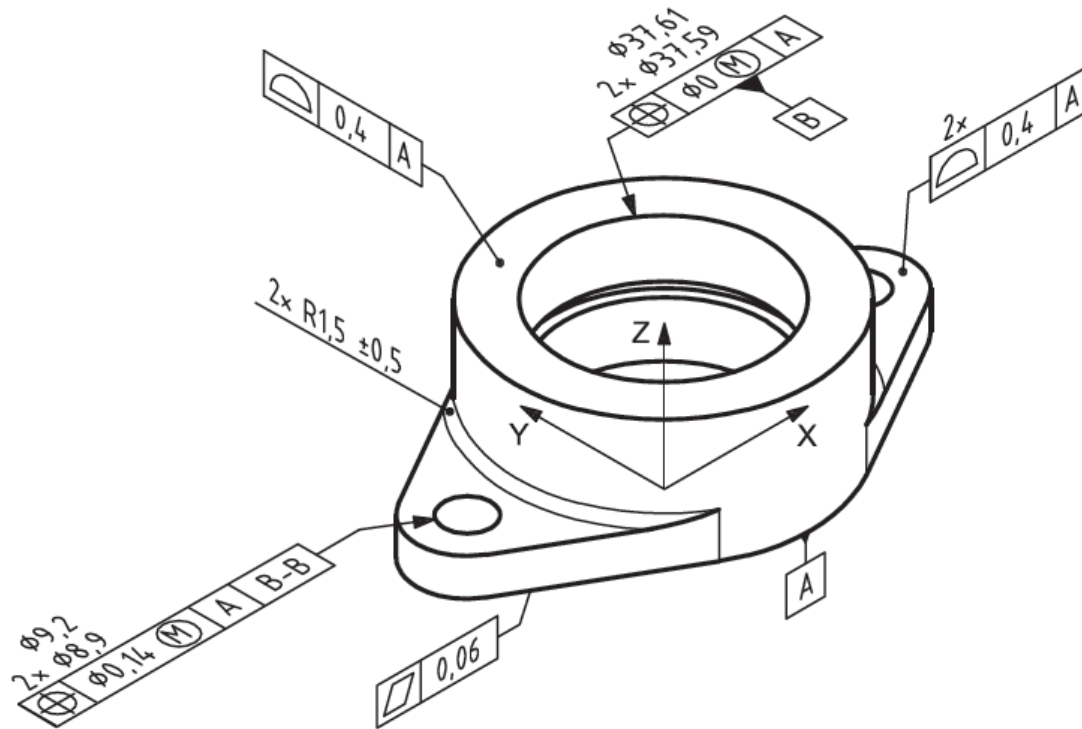
Supplemental Geometry



# 3D Annotated Model

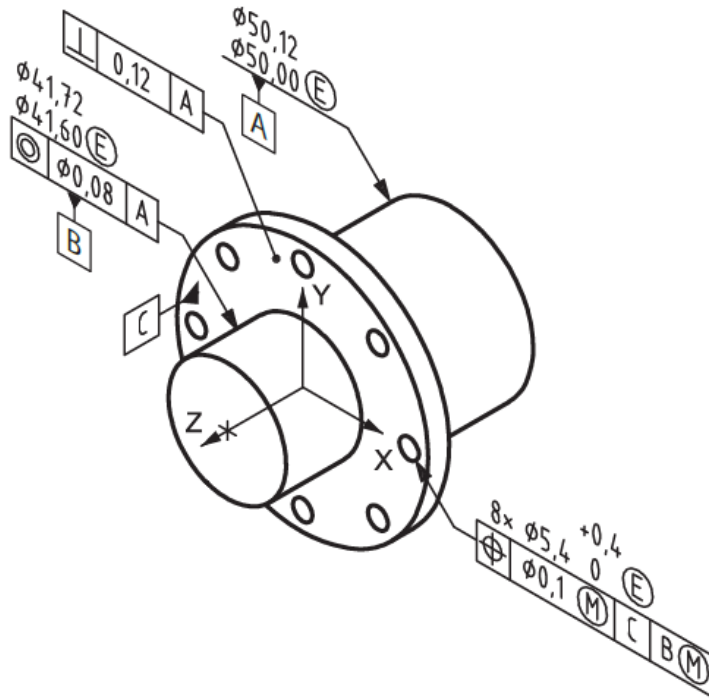
## Annotations

Etichette con le specifiche geometriche  
che il sistema CAD non è in grado di modellare



## Attributes

Specifiche che forniscono informazioni aggiuntive  
che non sono evidenziate dalla geometria  
o dalle annotazioni del modello



FEATURE DEFINITION	
Existing feature.	
ID :	HOLE_9
Comment :	mach_center
Type :	Single
Class :	Right Conical
Diameter	3±0,1
No sub-feature.	
Feature Geometry	
HOLE_9 *PT340	

---

Fine

