



Prototipazione Virtuale

***Modellazione basata sulla geometria
e sulla conoscenza***

Giuseppe Di Gironimo

giuseppe.digironimo@unina.it

Raggruppamento Scientifico disciplinare ING- IND/15

Classificazione

Le tecniche di **modellazione geometrica** si classificano in base al **tipo di rappresentazione** e di **struttura dati**.

La **rappresentazione** è l'insieme di metodi utilizzati per descrivere la geometria.

La **struttura dati** è come sono archiviate le informazioni del modello nella memoria del calcolatore e su file.

Il tipo di **rappresentazione** e la sua **struttura dati** sono un elemento caratterizzante dei software CAD in quanto incide su:

- **Potenzialità** (dominio delle geometrie possibili, funzioni di modellazione)
- **Prestazioni** (rapidità di esecuzione delle funzioni)

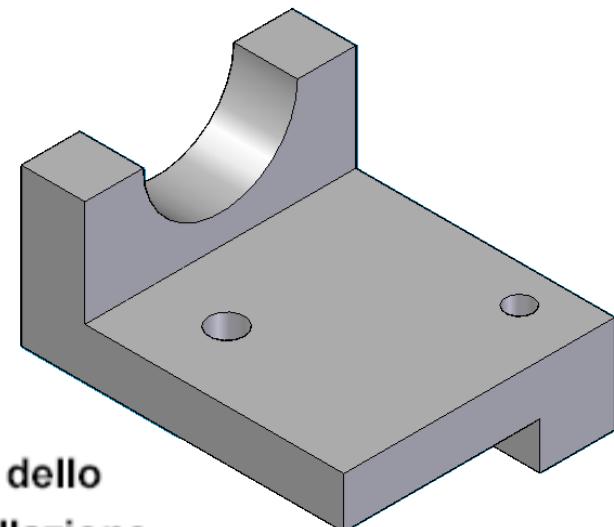
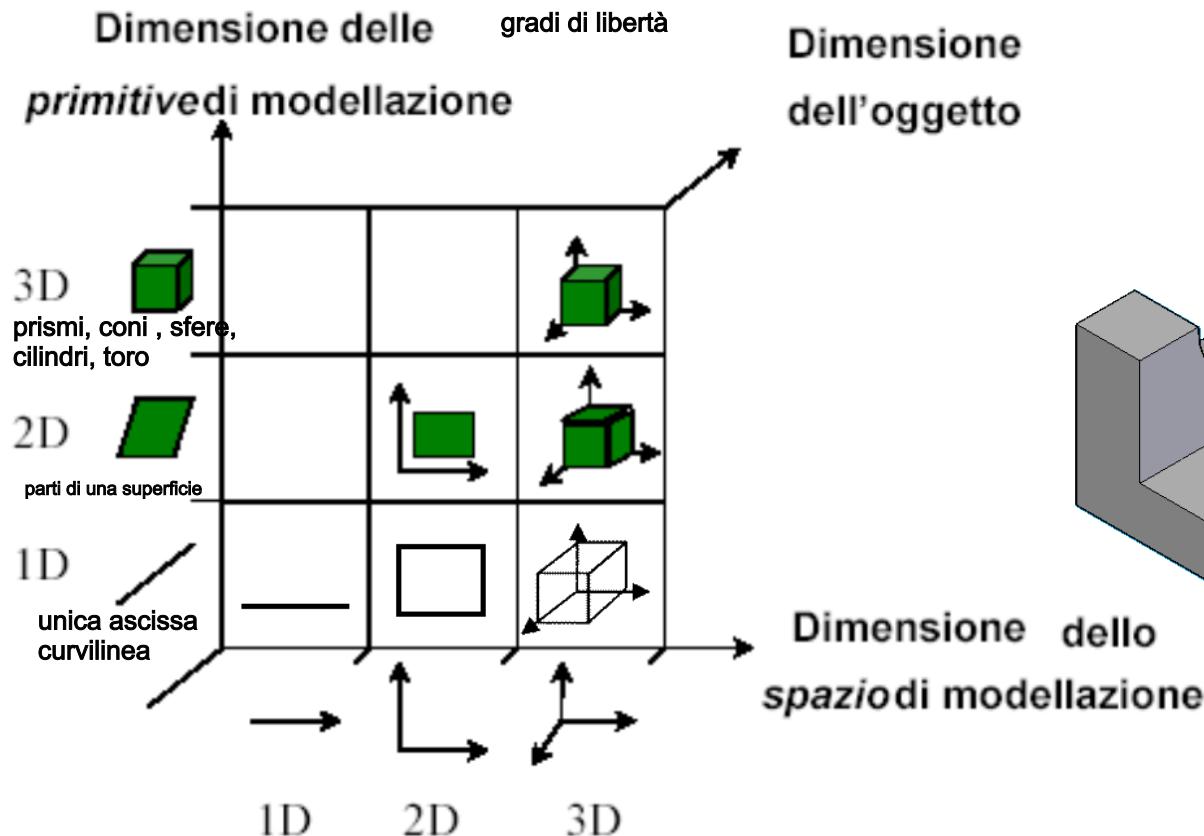
Tipi rappresentazione 3D

- Wireframe (storico)
- A superfici di confine
 - Poligonali
 - Implicite
 - Parametriche
- Volumetriche
 - Voxel- Ripartizione spaziale
 - Solid modeling – modellazione solida
 - Constructive solid geometry o CSG
 - Boundary representation (B- rep)
- Ibride

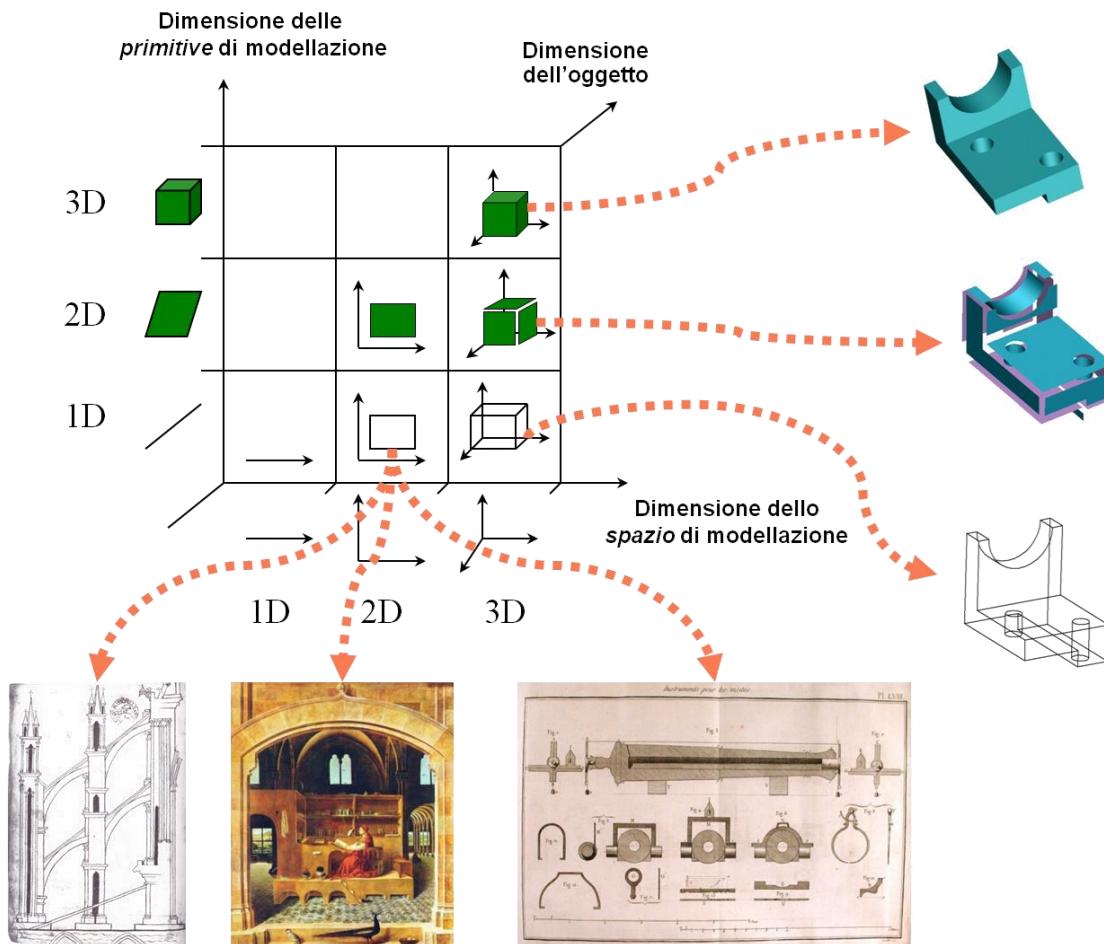
Classificazione dei Sistemi CAD

Sistemi Drafting

Sistemi di modellazione



Classificazione dei Sistemi CAD



Paintings:

- No depth
- Perspective

Drafting

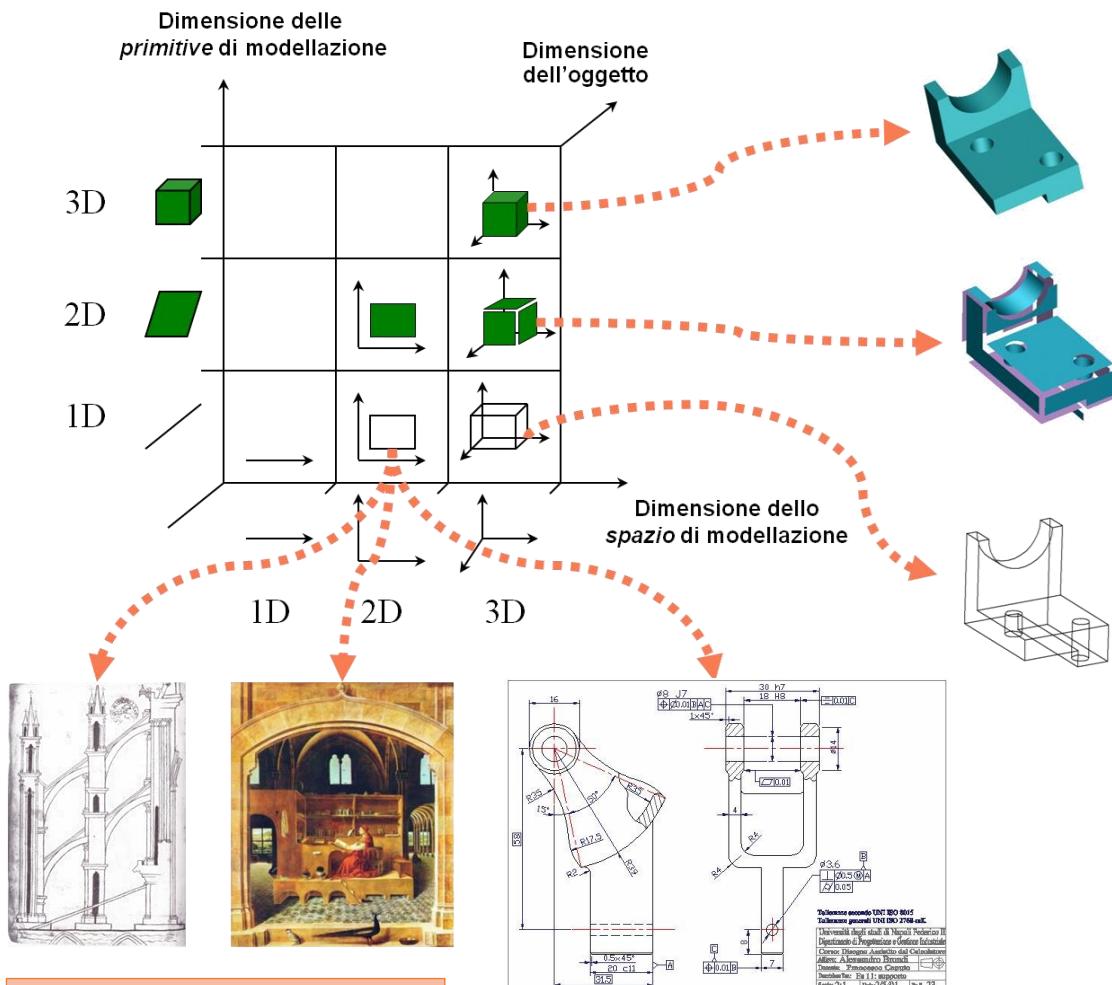
CSG (Constructive Solid Geometry)
Solid primitives combined with procedural methods

B-REP (Boundary Representation)
Representation of the external surface of the solid object

WIREFRAME

Representation of the solid object through its edges

Classificazione dei Sistemi CAD



Paintings:

- No depth
- Perspective

Drafting

CSG (Constructive Solid Geometry)
Solid primitives combined with procedural methods

riesco a modellare tutto il volume

B-REP (Boundary Representation)
Representation of the external surface of the solid object

non ho rappresentazione matematica dell'interno del volume, ma ho una rappresentazione delle facce

WIREFRAME

Representation of the solid object through its edges

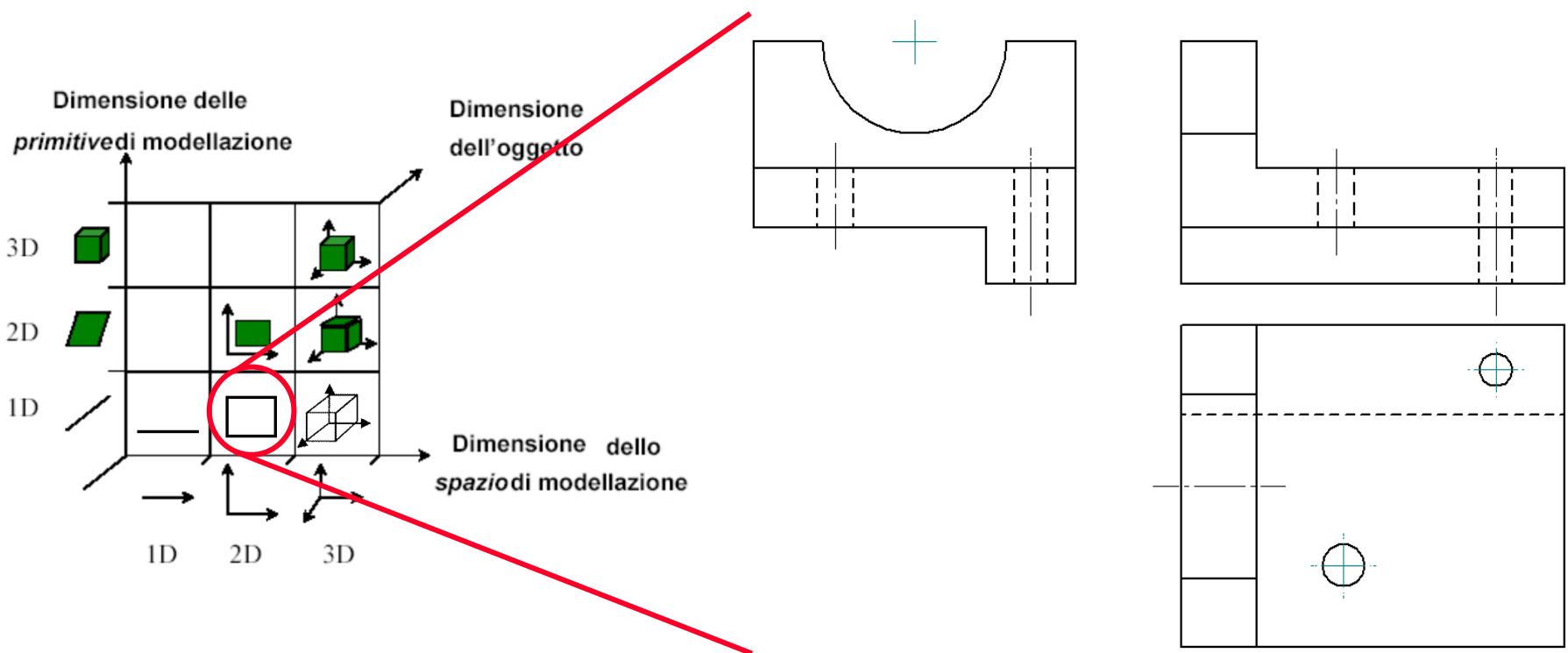
matematicamente l'interno della faccia e la superficie non sono descritti

Le curve sono descritte attraverso una rappresentazione parametrica, non analitica.

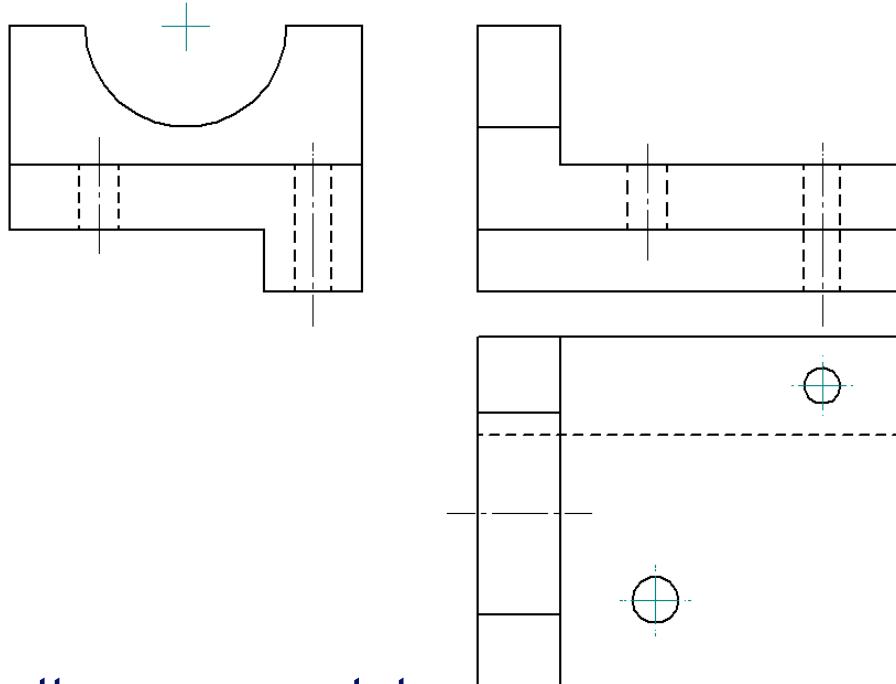
Evoluzione dei Sistemi CAD

- Drafting 2D
 - Sostituisce il disegno manuale
 - Più accurato, più facile apportare cambiamenti
- Modellazione 3D Wireframe
 - Primo passo verso il 3D
 - Problemi di interpretazione
- Modellazione 3D per Superfici
- Modellazione 3D Solida
- Modellazione solida feature-based

Sistemi di Drafting (2D)



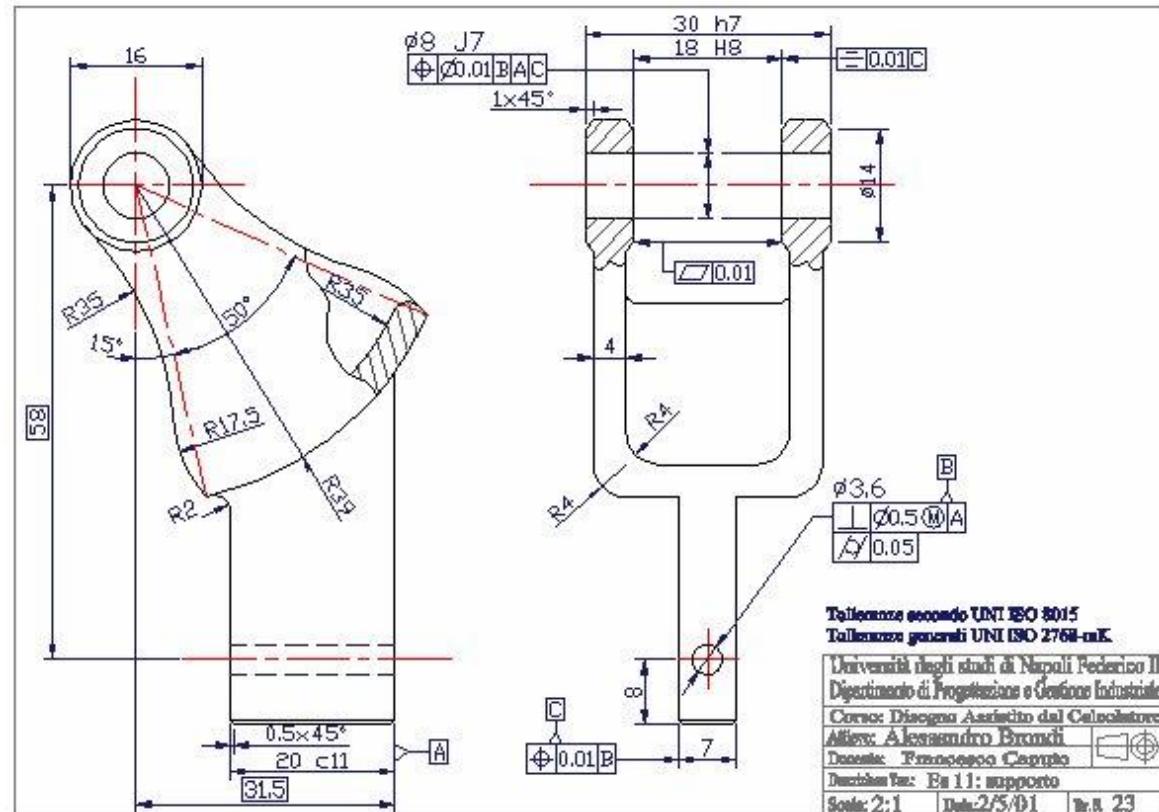
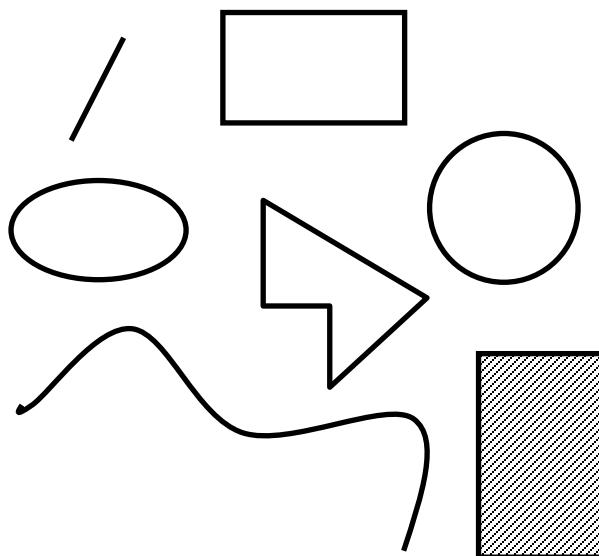
Caratteristiche dei sistemi Drafting



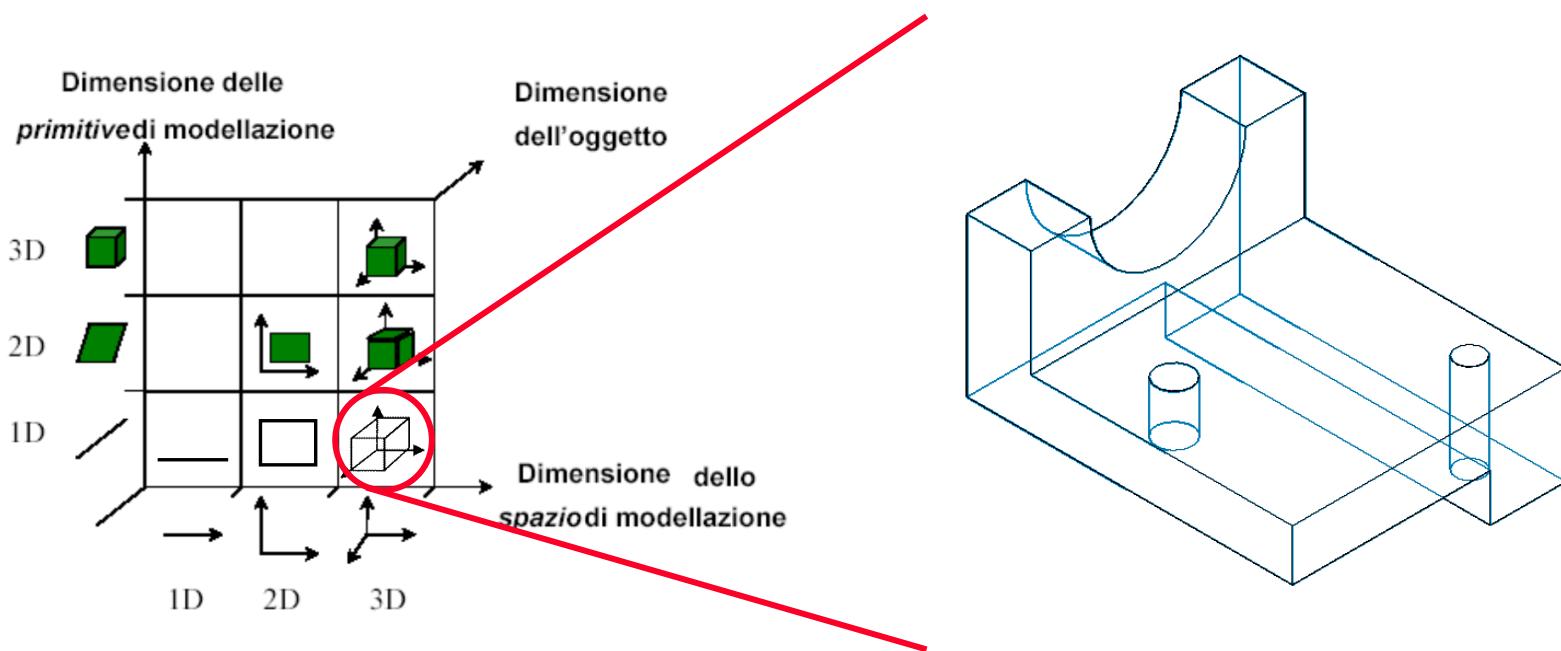
- ✓ Documentazione del prodotto
- ✓ *Editing* del documento e non dell'oggetto rappresentato
- ✓ Oggetto essenzialmente implicito: va interpretato
- ✓ Viste/sezioni “separate”
- ✓ Rappresentazione di geometria di contorno
- ✓ Difficoltà di comprendere geometrie complesse
- ✓ Rappresenta un *word processing* di documenti grafici

Elementi dei sistemi CAD 2D

- Strumenti di disegno
- Tipi di linea
- Campitura
- Quotatura
- ecc.



Sistema Wireframe



La rappresentazione Wire Frame

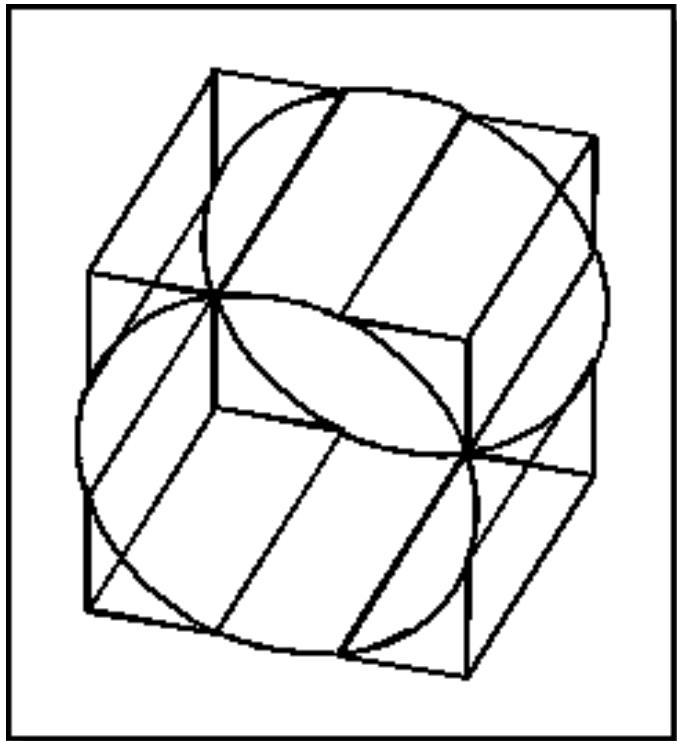
Rappresentazione degli oggetti mediante gli **spigoli** (fil di ferro).

■ Pro

- Richiedono poche risorse computazionali e grafiche
- Facilmente implementabile

■ Contro

- “Geometria povera” (solo spigoli in vista e/o nascosti).
- Complicati da leggere e interpretare
- Manca descrizione esplicita delle superfici di confine dei modelli.
- Non possono essere interrogabili su aree e volumi.
- Ambiguità nella rappresentazione e nel passaggio da 3D a 2D.



Caratteristiche di un Sistema Wireframe

- ✓ Possibilità di derivare direttamente disegni 2D
- ✓ Geometria “povera”
- ✓ Ambiguità di interpretazione
- ✓ Carenza di Normative appropriate
- ✓ Non adeguato per geometrie complesse
- ✓ Adottato molto come modalità di visualizzazione di modelli 3D
- ✓ Struttura dati molto semplice e rapida.
- ✓ Appartiene al passato caratterizzato da scarsa potenza di calcolo e di visualizzazione.

Caratteristiche di un Sistema Wireframe

Il Modello è descritto per mezzo di tabelle di vertici e spigoli

Modello wireframe

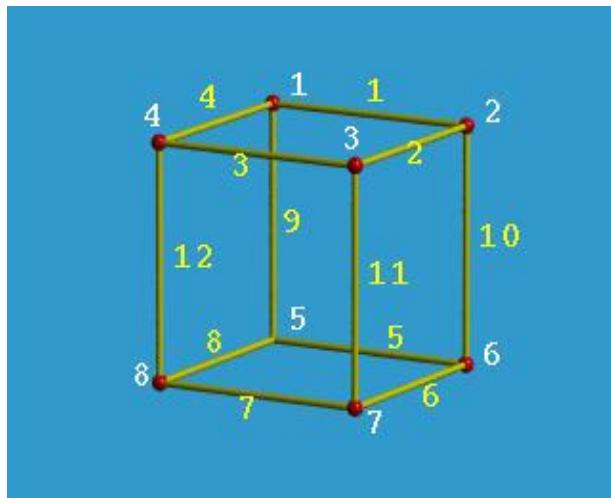


Tabella dei vertici

Tabella Vertici			
Vertice #	x	y	z
1	1	1	1
2	1	-1	1
3	-1	-1	1
4	-1	1	1
5	1	1	-1
6	1	-1	-1
7	-1	-1	-1
8	-1	1	-1

Tabella degli spigoli

Tabella Spigoli		
Spigolo #	Vertice iniziale	Vertice finale
1	1	2
2	2	3
3	3	4
4	4	1
5	5	6
6	6	7
7	7	8
8	8	5
9	1	5
10	2	6
11	3	7
12	4	8

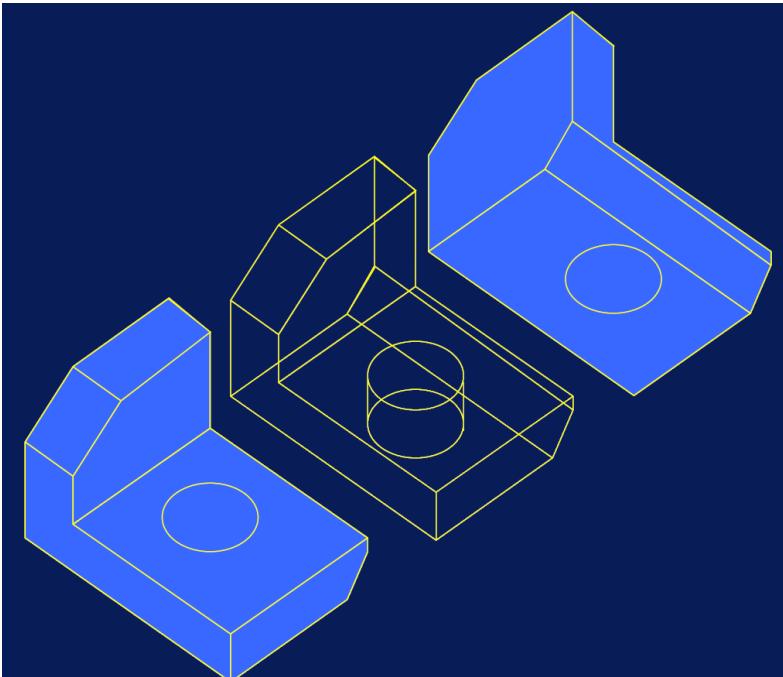
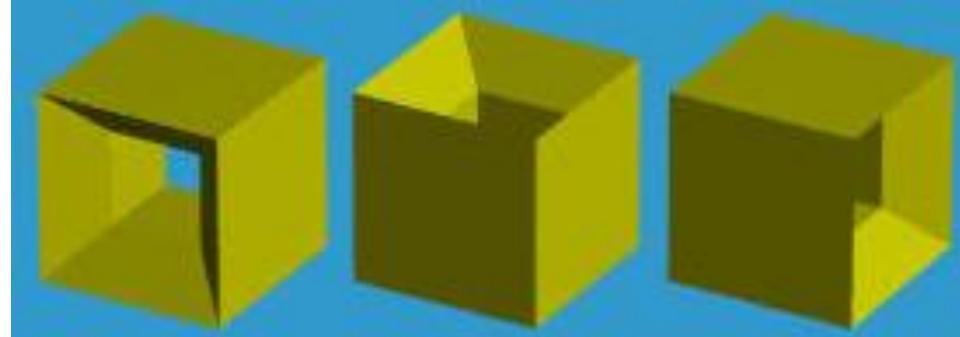
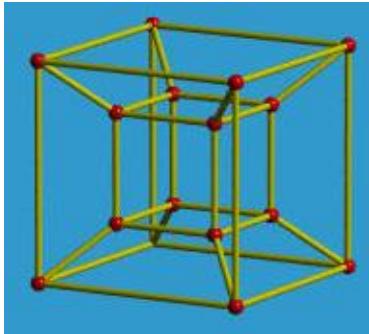
Nota:

In caso di spigoli non rettilinei è necessario fornire a parte la descrizione matematica delle curve
all'interno della tabella

Ambiguità di interpretazione

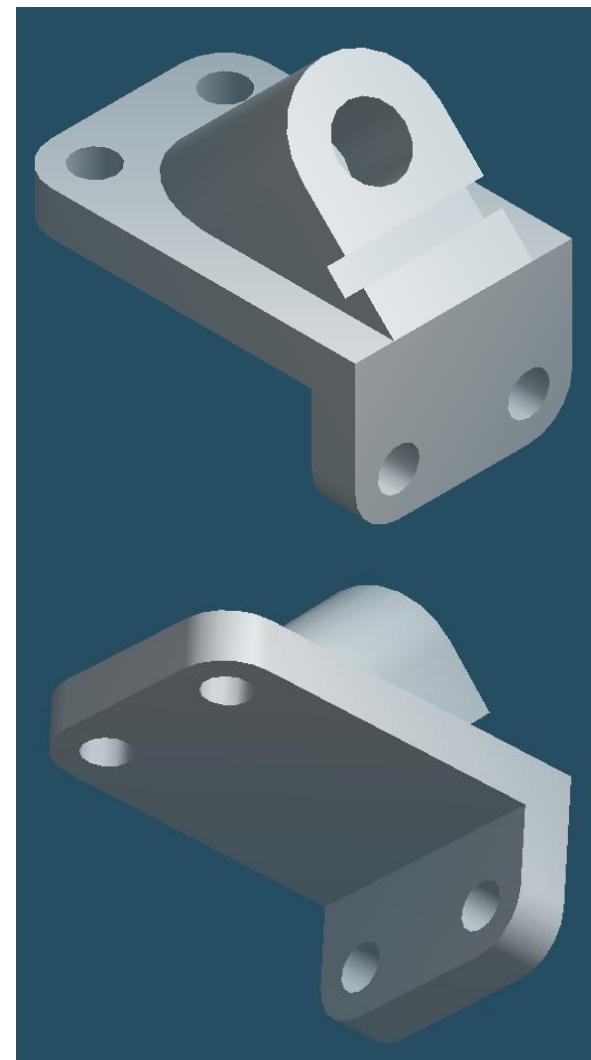
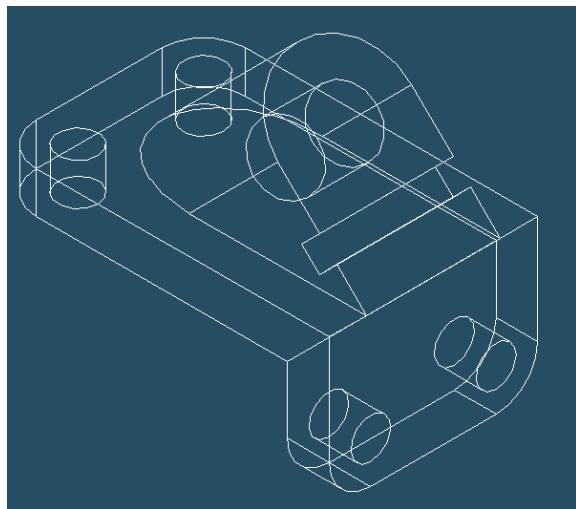
Non ci sono informazioni
sulle facce della geometria

Problemi di interpretazione
del modello



- ✓ Il modello visualizzato in Wire Frame può essere interpretato in modi diversi: ambiguità
- ✓ Solo ruotando l'oggetto è possibile discernere la forma
- ✓ Appartengono al passato caratterizzato da scarsa potenza di calcolo e di visualizzazione.
- ✓ Struttura dati molto semplice e rapida.

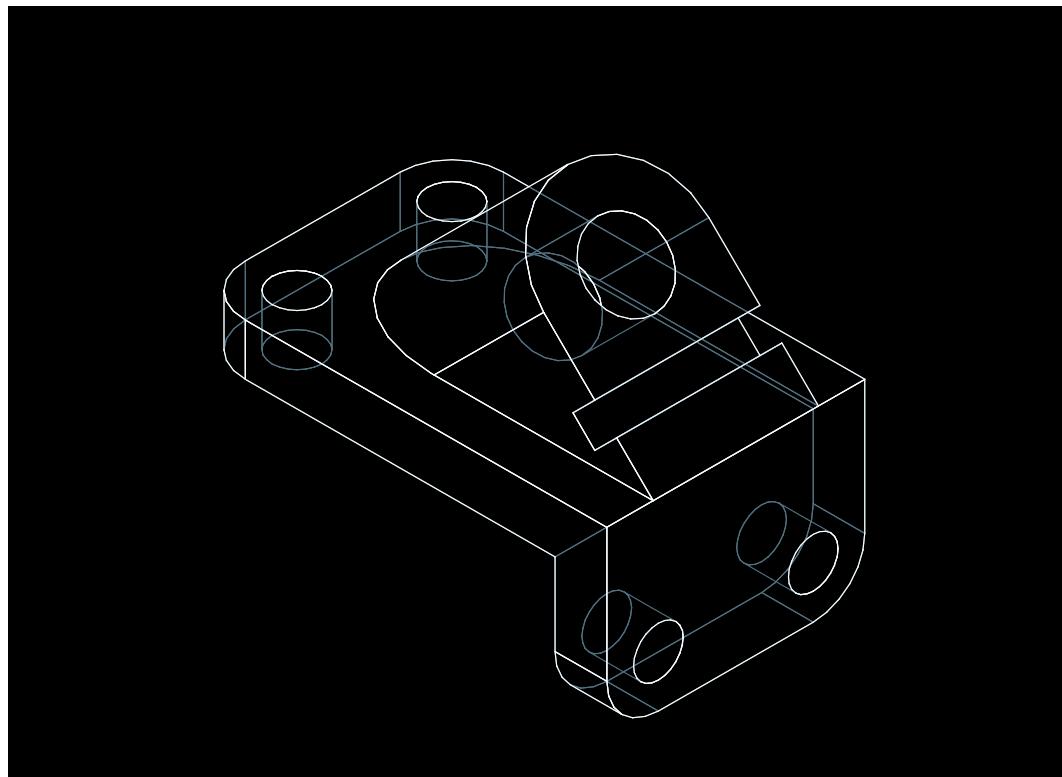
Cos'è questo?



Rappresentazione con linee nascoste

Nota:

Nella rappresentazione “solida” è possibile visualizzare il modello nella forma “linee nascoste” che è simile alla rappresentazione *wireframe*, ma ha senso parlare di linee nascoste solo quando ci sono le facce dell’oggetto!



Non è un modello
wireframe!!!

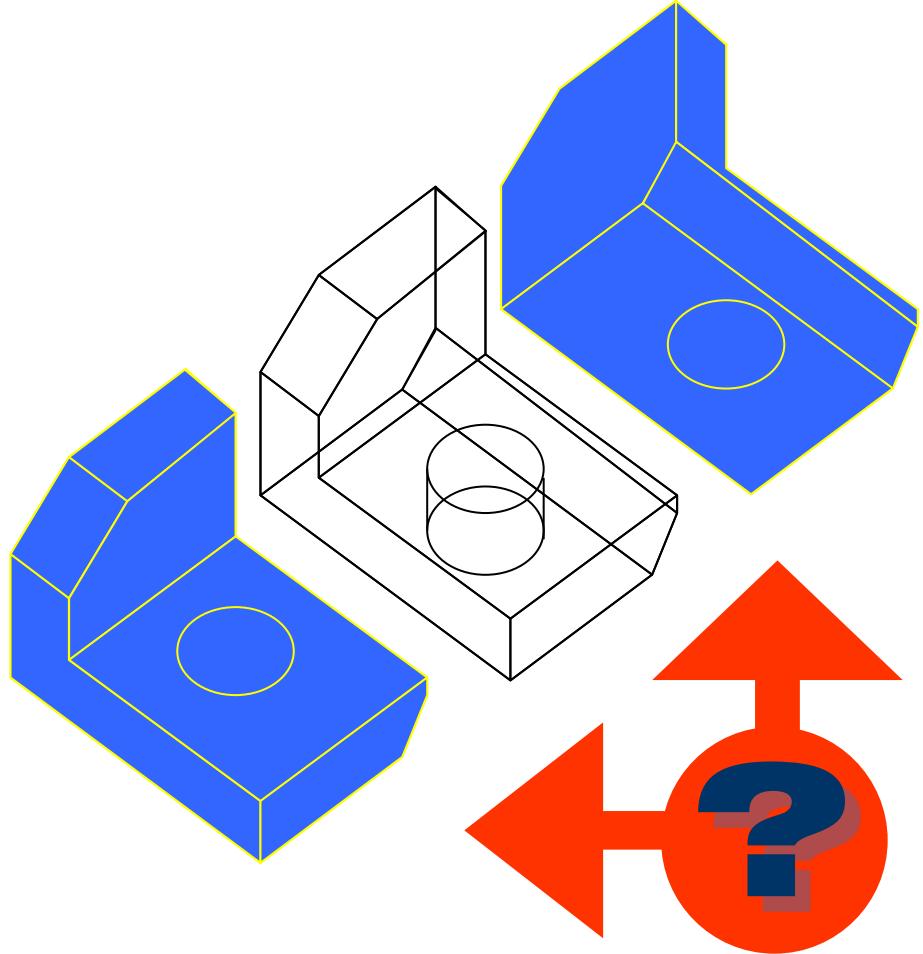
Ambiguità nella lettura

Il modello visualizzato in **Wire Frame** può essere interpretato in modi diversi: ambiguità

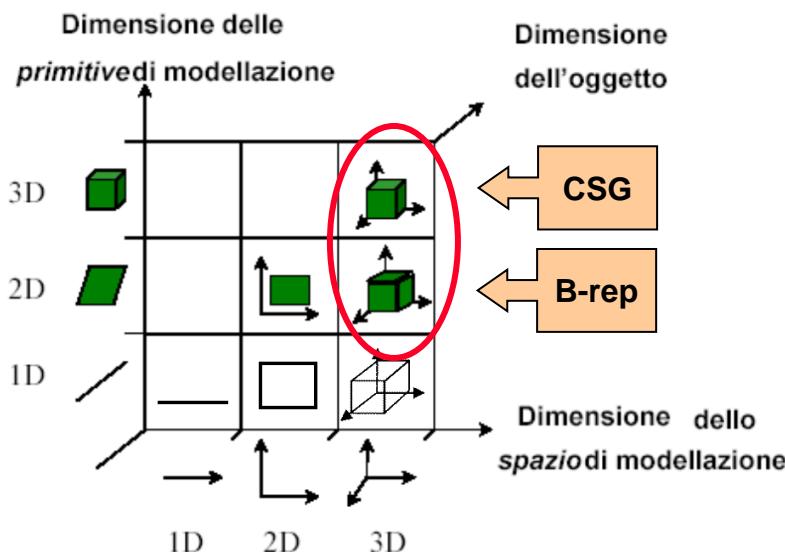
Solo ruotando l'oggetto è possibile discernere la forma

Appartengono al passato caratterizzato da scarsa potenza di calcolo e di visualizzazione.

Struttura dati molto semplice e rapida.



Modellazione Solida



- Modellazione del prototipo
- Al centro dell'attenzione è la forma
- Rappresentazione con un numero limitato di primitive solide semplici organizzate con alcuni operatori logici

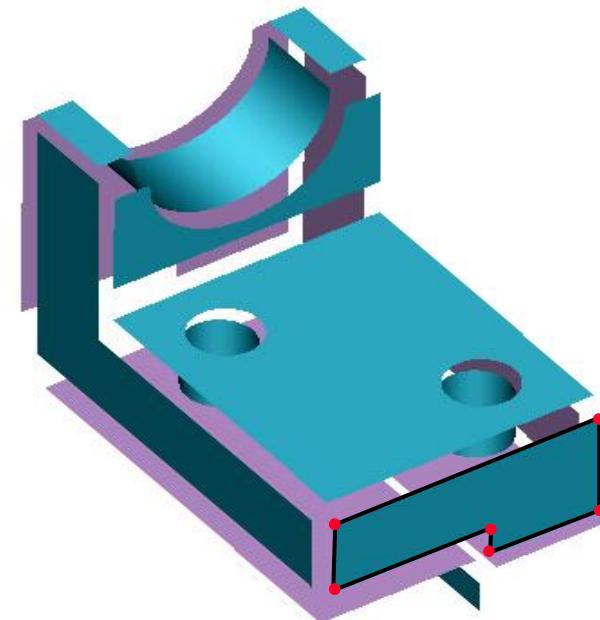
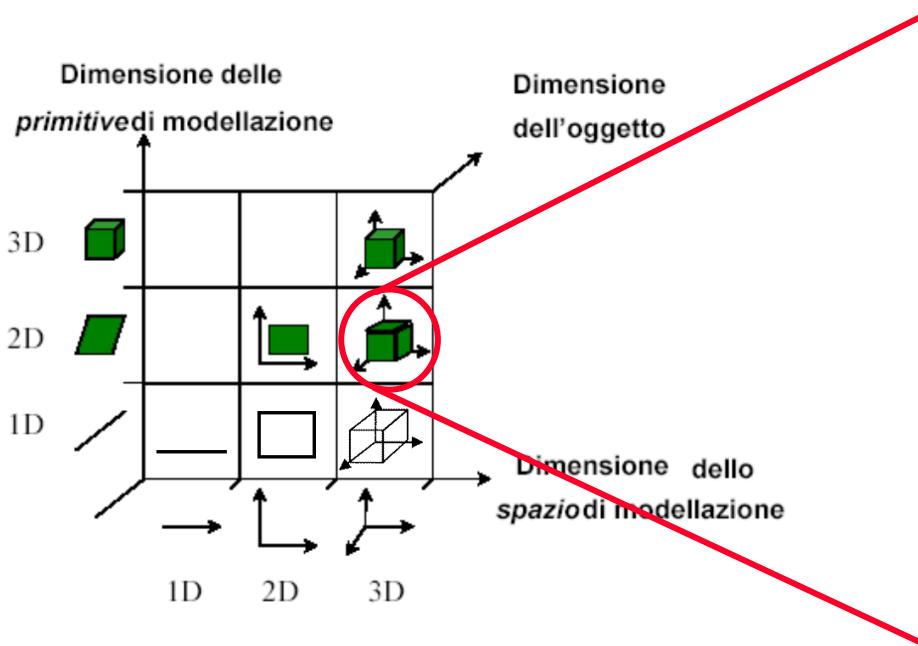
- Sistemi basati sulla rappresentazione delle superfici che delimitano l'oggetto (B-rep)
- Sistemi basati su primitive solide e criteri per la loro aggregazione (CSG)

Caratteristiche della Modellazione Solida

- Completa e non ambigua
- I modelli hanno un volume e proprietà di massa
- La gran parte dei modellatori solidi sono feature-based
 - Geometria ottenuta aggiungendo e sottraendo feature
- La gran parte dei modellatori solidi sono parametrici
 - Geometria modificabile agendo sui parametri (dimensioni)

Modellazione Solida B-rep

Oggetto definito dalle superfici che lo delimitano (facce)
e da relazioni di contiguità tra esse



posso disegnare superfici aperte che non sono realmente realizzabili
La rappresentazione B-rep può essere considerata come un'estensione del modello wireframe. La superficie del solido consiste di un insieme ben organizzato di facce, che sono porzioni di superfici. L'insieme delle facce individua chiaramente ciò che è interno (pieno) e ciò che è esterno (vuoto).

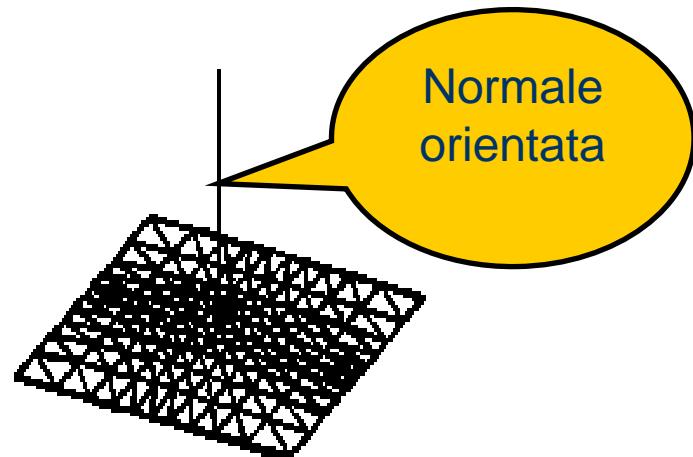
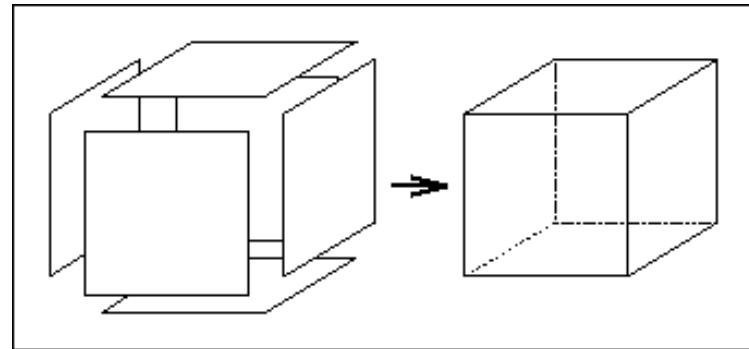
non posso distinguere l'interno o l'esterno di un oggetto (anche se alcuni software possono caratterizzare una superficie con una normale uscente)

Modellazione per superfici

- ✓ Superfici 2D nello spazio 3D
- ✓ Sono definiti tutti i punti sulla superficie
 - ✓ Utile per le lavorazioni, la visualizzazione, ecc.
- ✓ Le superfici non hanno spessore e gli oggetti non hanno volume o proprietà solide
- ✓ Le superfici possono essere aperte

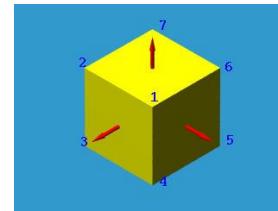
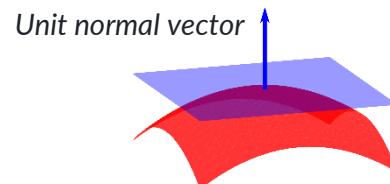
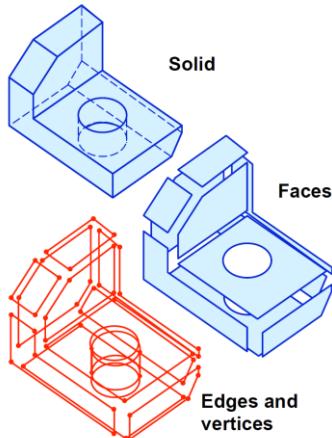
La rappresentazione a superfici

- Rappresenta la forma degli oggetti come un **insieme di superfici connesse fra loro**
- Gli involucri hanno **spessore nullo** e significato puramente geometrico e possono essere **aperti o chiusi** (**tenuta stagna**)
- A seconda del tipo di rappresentazione la superficie è caratterizzata matematicamente e può essere dotata di **orientamento** (in\out)

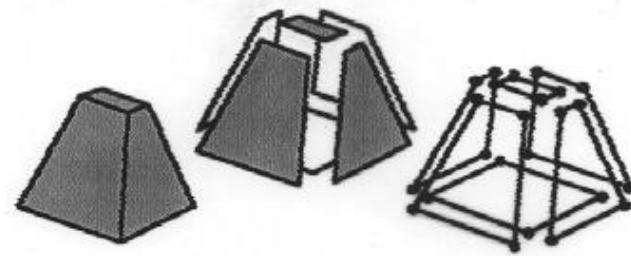


Schema di Rappresentazione B-Rep

- ✓ Rappresentazione basata sulla struttura topologica, esplicita e valutata
- ✓ Solido definito in modo indiretto tramite le superfici che lo delimitano (facce) e le relazioni esistenti tra di esse
- ✓ Le facce sono a loro volta rappresentate come insiemi di spigoli e vertici
- ✓ La posizione del materiale è determinata dall'uso di geometria orientata

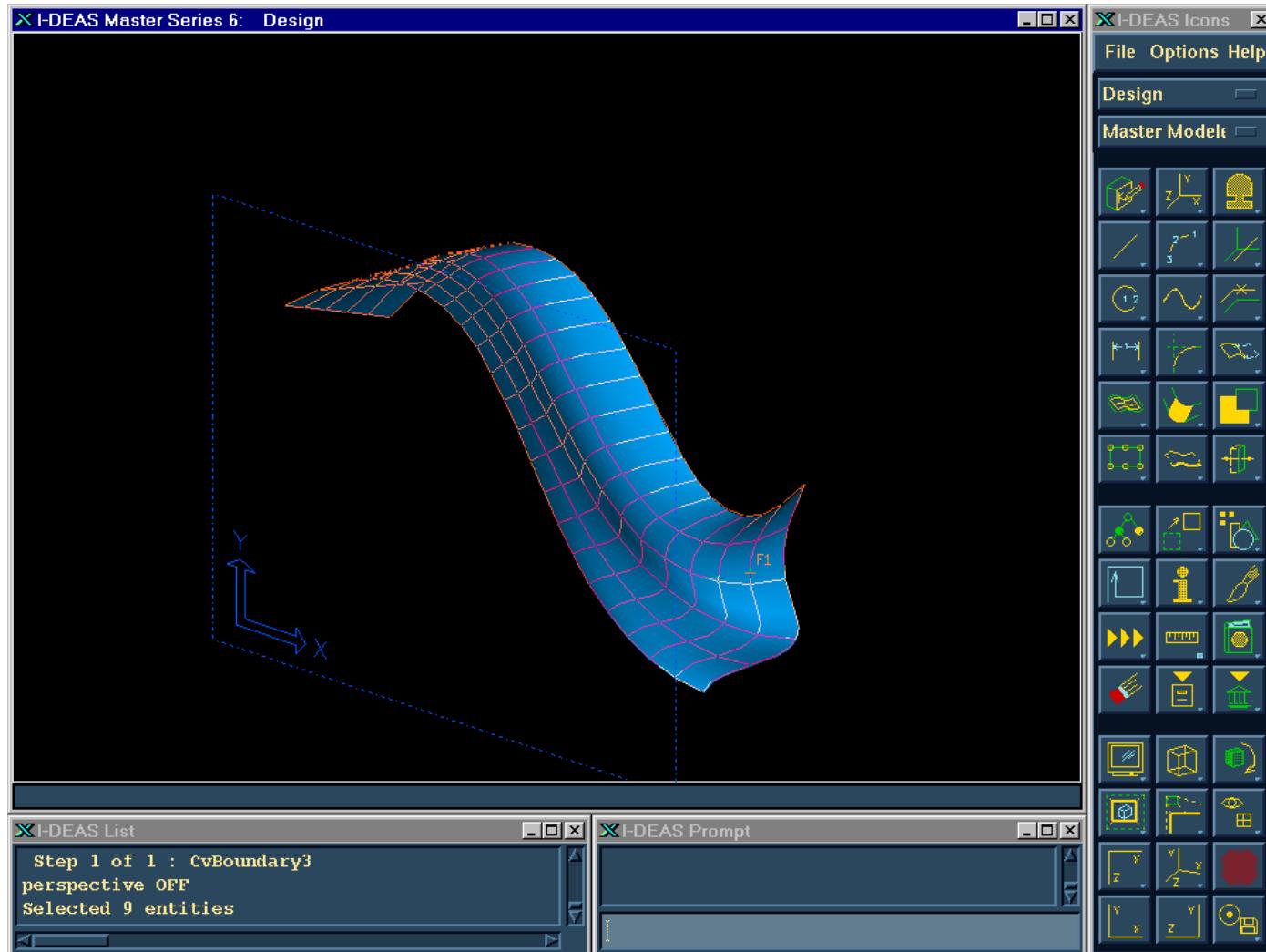


A normal to a surface at a point is the same as a normal to the tangent plane to the surface at the same point.



Modellazione per superfici

CAS



Modellazione per superfici con Alias



Modellazione per superfici con Rhino3D

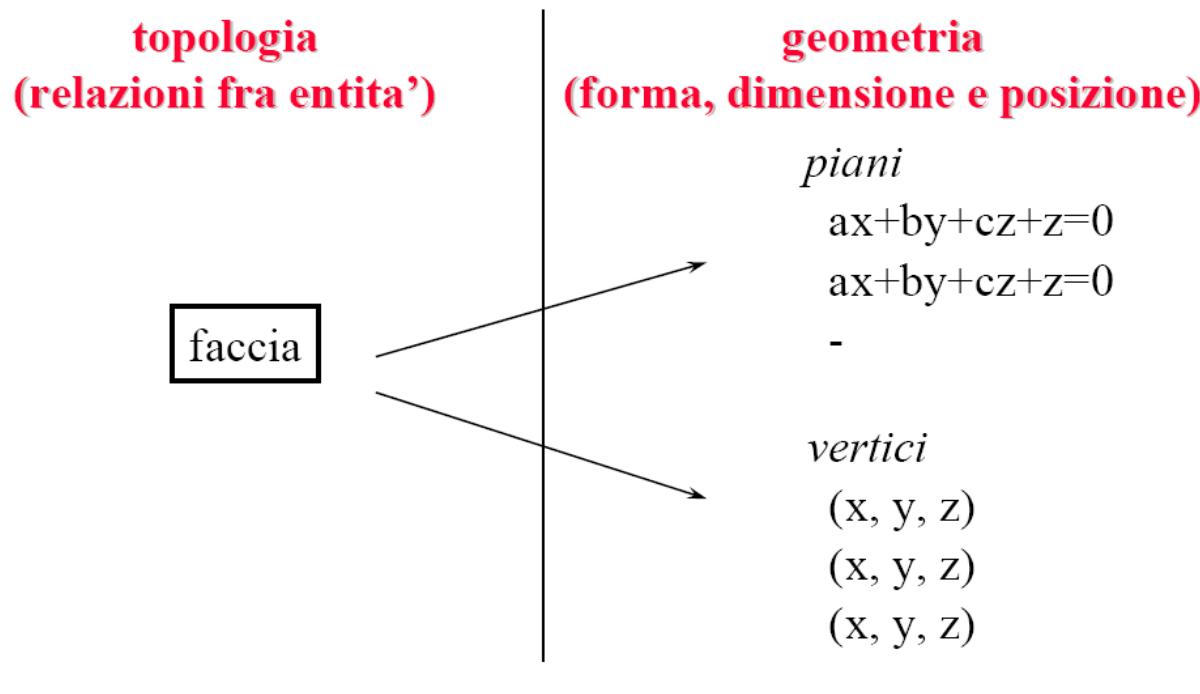


Entità topologiche e geometriche

La **geometria** descrive, mediante dei parametri, la forma, la dimensione e la posizione degli oggetti: coordinate dei vertici, raggio, lunghezze e angoli, etc..

La **topologia** descrive le connessioni tra le varie entità geometriche:
Vertici, bordi e facce, sono delle entità topologiche

Topologia e Geometria



Entità topologiche e geometriche

Entità Topologiche	Solido	Shell	Faccia	Loop	Spigolo	Vertice
Entità Geometriche			Superficie		Curve	Punto

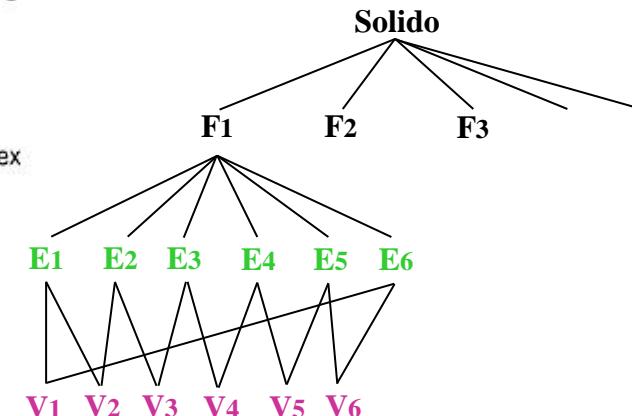
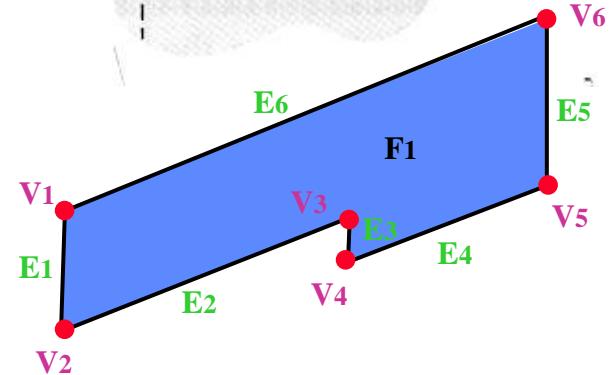
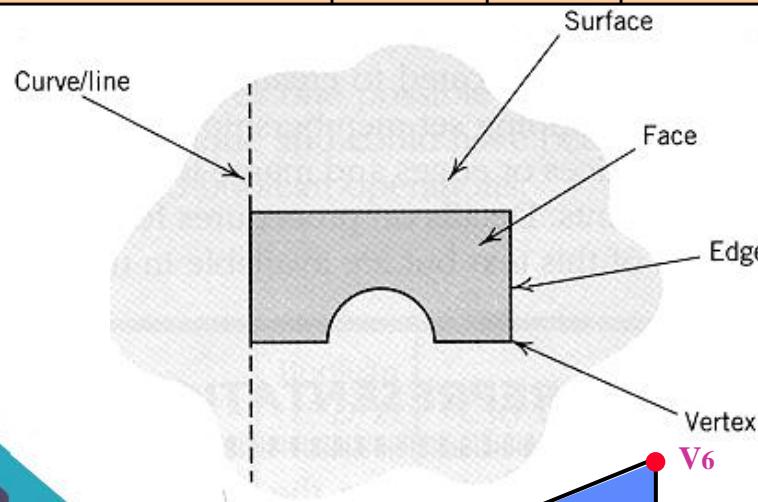
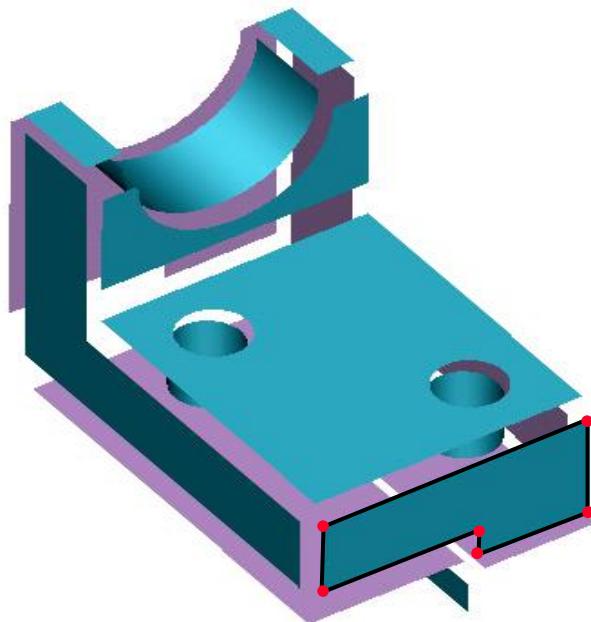
Relazioni
tra entità

- *entita' topologiche primarie*
 - *facce*, che lo delimitano
 - *spigoli*, che delimitano ciascuna faccia
 - *vertici*, che definiscono ciascun spigolo
- *entita' composte*
 - *loop*, insieme connesso di spigoli
 - *shell*, insieme connesso di facce
 - *oggetto*, insieme di shell
- *altre entita'*
 - *hole*, fori passanti
 - *ring*, loop interni alle varie facce

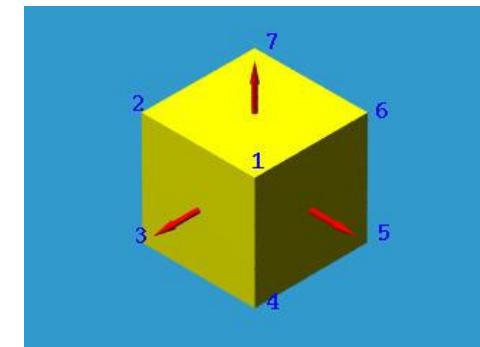
Entità topologiche e geometriche

Entità Topologiche	Solido	Shell	Faccia	Loop	Spigolo	Vertice
Entità Geometriche			Surface		Curve	Punto

Relazioni tra entità



L'orientamento delle facce è fondamentale per valutare il vettore normale uscente che deve puntare all'esterno del solido. Per ogni faccia i vertici vengono organizzati, di solito in senso antiorario, per definire il verso della normale uscente.



Eulero

Leonhard Euler (1707 - 1783) ha definito le regole fondamentali che regolano la **topologia** dei corpi solidi.

Esistono diverse formulazioni sotto forma di equazioni



Relazioni tra entità topologiche

Formula di Eulero-Poincaré

Relazione tra numero di vertici, spigoli e facce.

La formulazione generale include anche la presenza di fori nel solido.

- **V:** numero di vertici
 - **E:** numero di spigoli
 - **F:** numero di facce
 - **G:** numero di fori
 - **S:** numero di shell (il solido viene conteggiato come shell, quindi sempre $S \geq 1$)
 - **L:** numero di percorsi chiusi (loop) sia delle facce esterne che interne
- Condizione necessaria (ma non sufficiente), affinché un solido sia manifold (ovvero sia effettivamente un solido, realizzabile)
- $$V - E + F - (L - F) - 2(S - G) = 0$$

CUBO

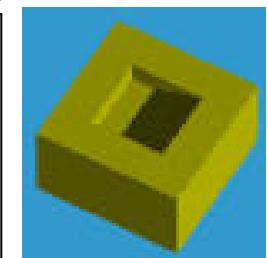
$V = 8, E = 12, F = 6, G=0, S=1, L = F$ perché ogni faccia ha solo un loop esterno

$$V-E+F-(L-F)-2(S-G) = 8-12+6-(6-6)-2(1-0) = 0$$

CUBO con scavo

$V = 16, E = 24, F = 11, G = 0, S= 1, L = 12$ (11 facce + loop interno della faccia superiore)

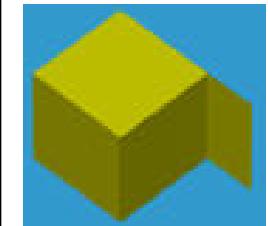
$$V-E+F-(L-F)-2(S-G) = 16-24+11-(12-11)-2(1-0)=0$$



Attenzione!

La formula di Eulero-Poincaré è una condizione necessaria ma non sufficiente. Se la relazione è verificata, ciò non significa che il solido è valido.

$$V-E+F-(L-F)-2(S-G) = 10-15+7-(7-7)-2(1-0)=0$$

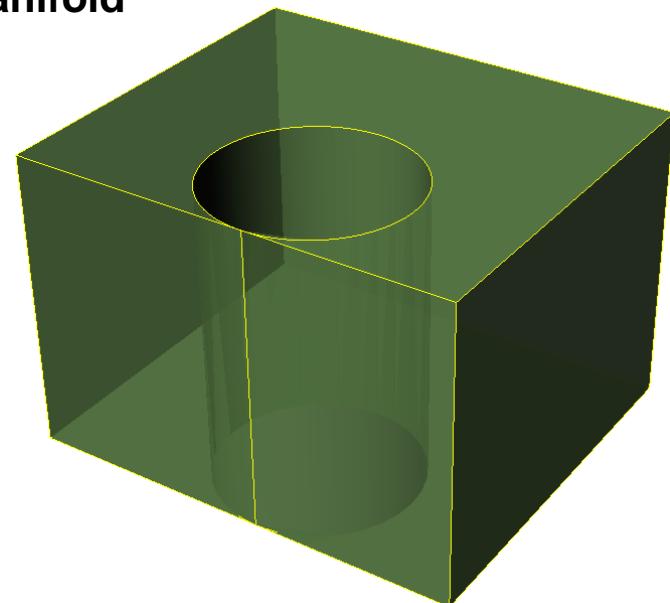
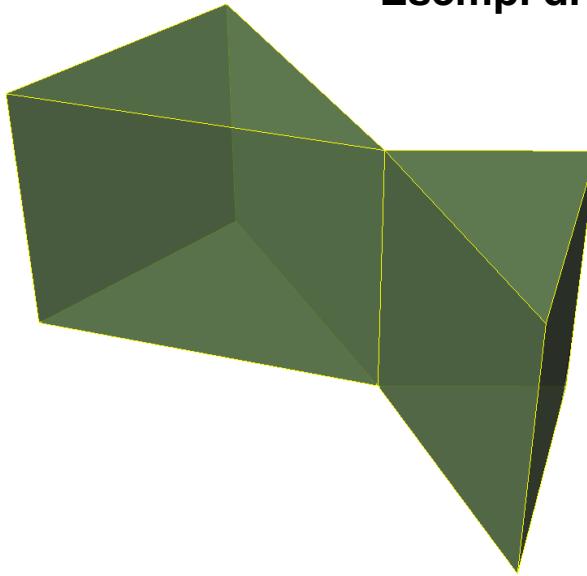


Modelli solidi manifold e non-manifold

Un contorno manifold separa in modo non ambiguo una regione interna da una esterna

In oggetti manifold gli spigoli possono appartenere solo a due facce

Esempi di oggetti non-manifold



Alcuni sistemi CAD consentono di creare anche modelli non-manifold e solidi “aperti”, cioè solidi con qualche faccia mancante

Considerazioni sulla modellazione B-rep

Vantaggi

- è semplice ottenere informazioni sui singoli elementi
- è facile visualizzare il solido creato
- adatta per generare viste, con eliminazione automatica delle parti nascoste

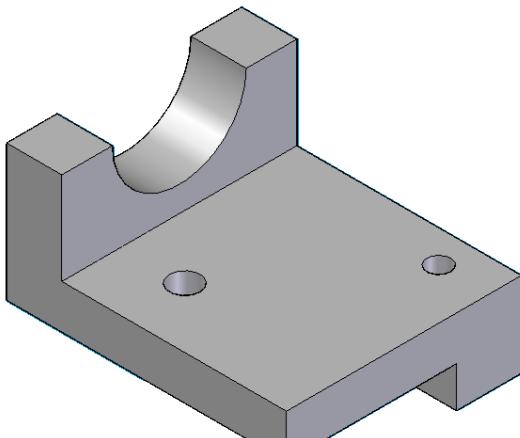
Svantaggi

- richiede notevole spazio di memoria
- elevato costo computazionale

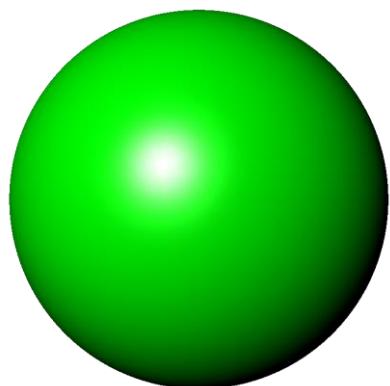
Rappresentazione esatta vs semplificata

Un modello B-rep è una rappresentazione precisa di un oggetto. Una rappresentazione semplificata (sempre basata su informazioni “superficiali”) può essere ottenuta con un processo di “sfaccettatura” che crea una *mesh* poligonale.

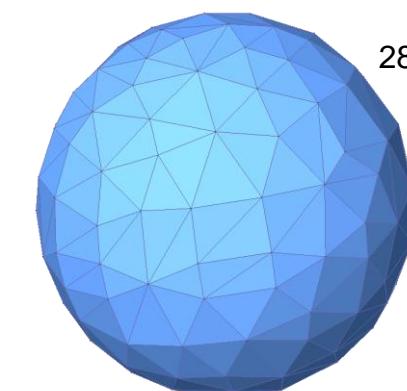
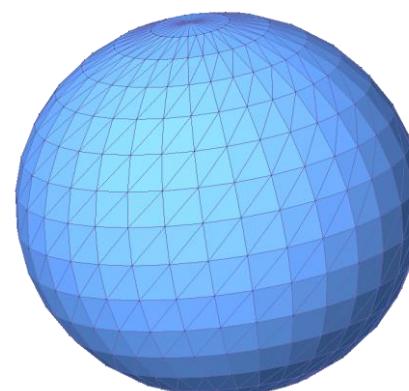
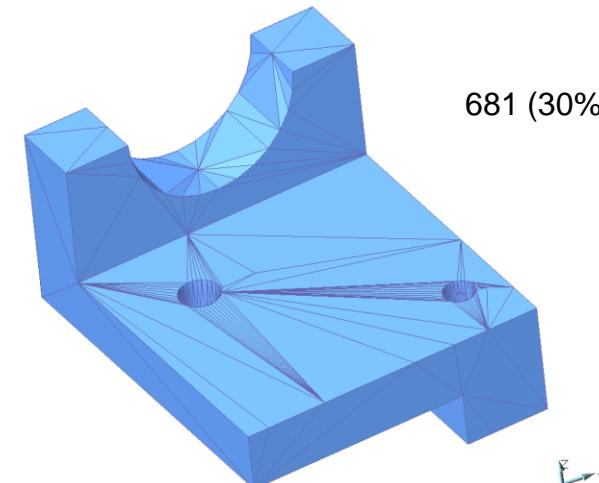
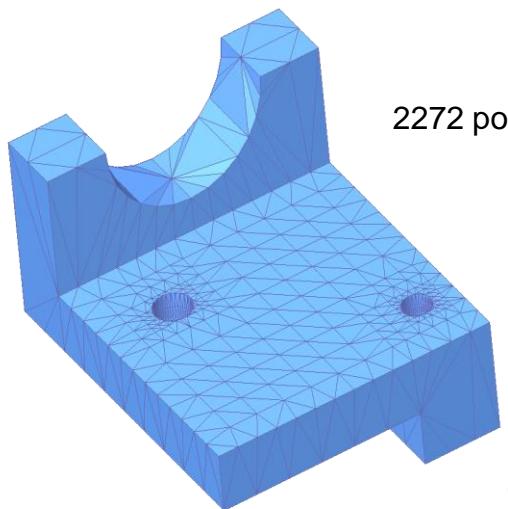
Geometria precisa



ciascuna superficie è descritta attraverso il suo
modello matematico corretto

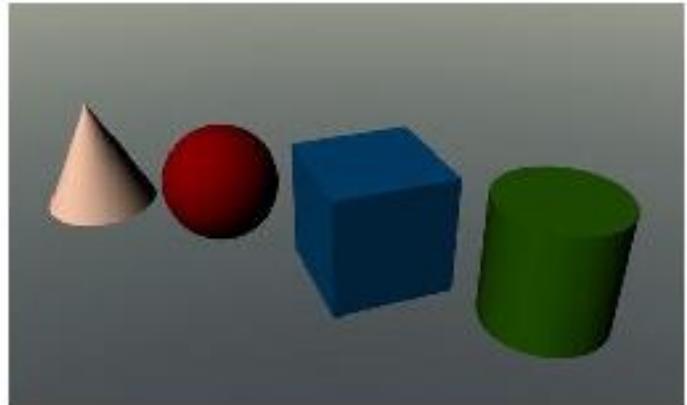
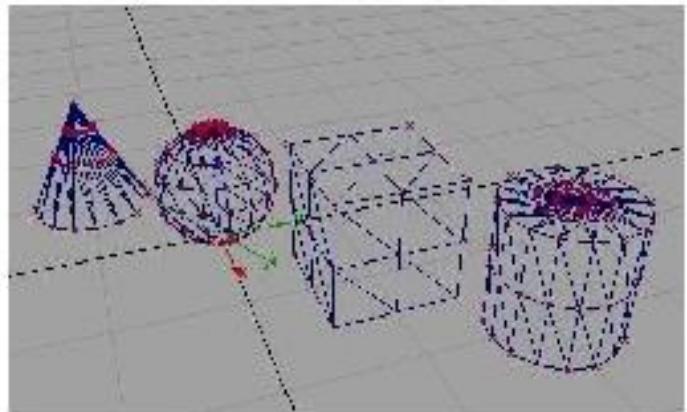


Geometria approssimata

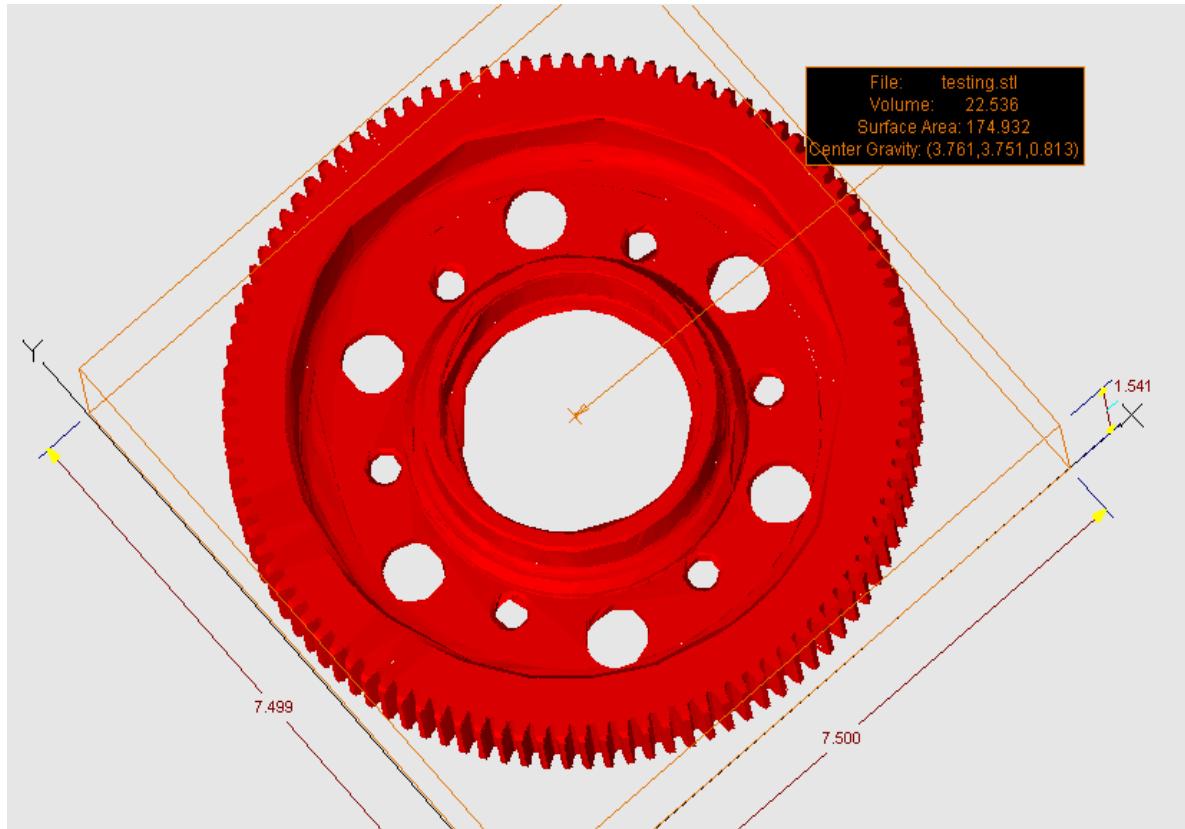


Rappresentazione poligonare

- Il modello è discretizzato in **poligoni piani connessi** (triangoli, quadrilateri, ecc.)
- Sono la rappresentazione più semplice (calcoli e implementazione)
- I **triangoli** sono i più utilizzati
- è facile da visualizzare
- ma è **approssimata!!!**

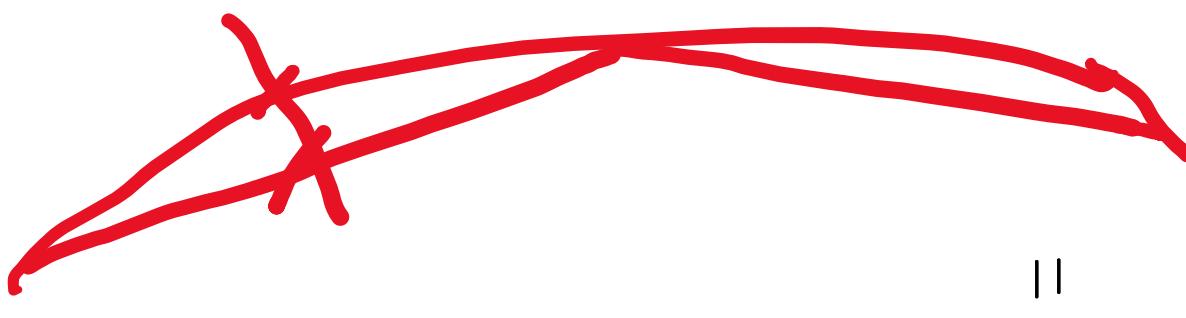


Numero dei triangoli e precisione



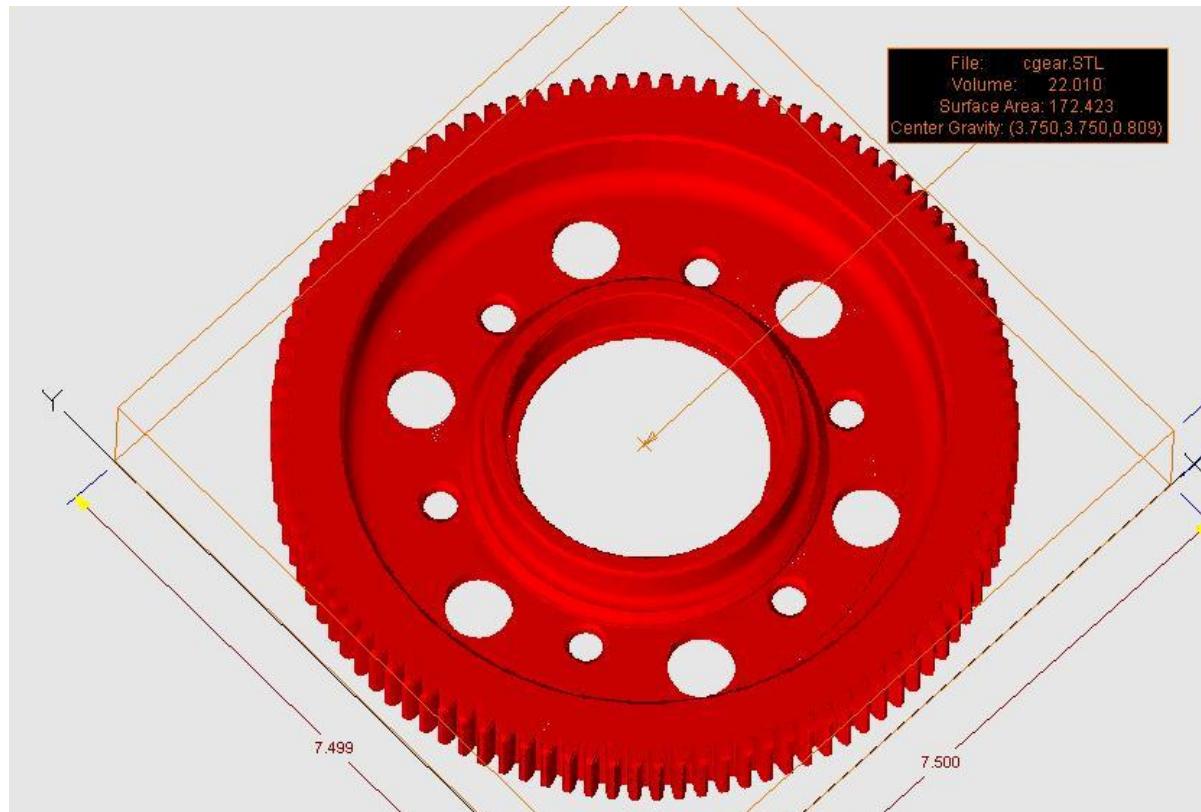
Errore =
0.01 mm

Triangles: 38,000
File Size: 1.9 MB



Numero dei triangoli e precisione

La dimensione del file cresce più che linearmente con il numero dei triangoli!!



Errore =
0.001
mm

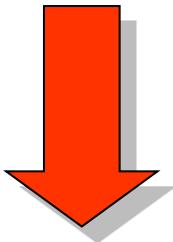
Triangles: 195,000
File Size: 19.5 MB

Cosa è il livello di dettaglio?

LOD= livello di dettaglio

La “finezza” del modello è chiamata
tesselation level

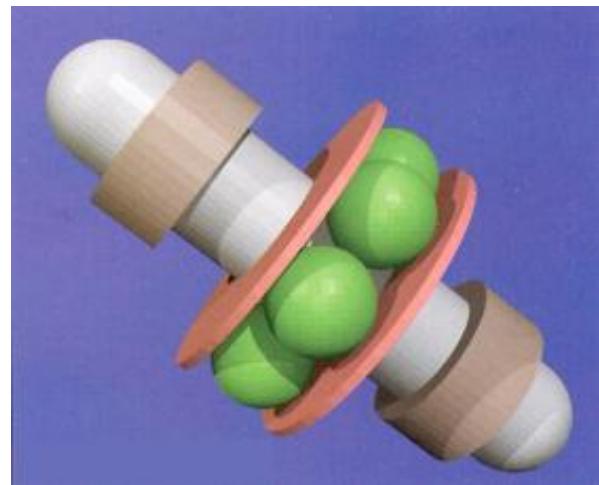
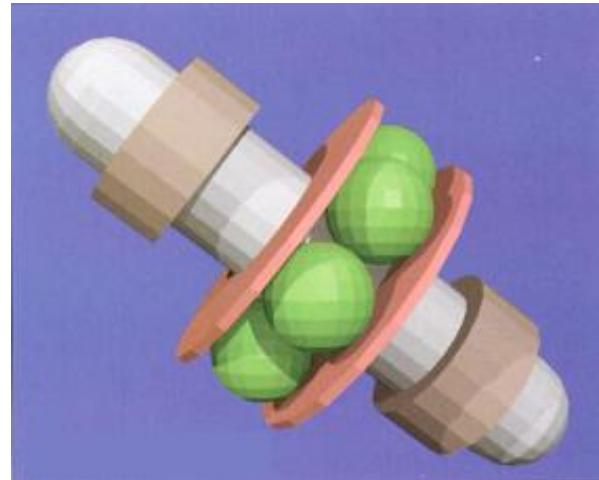
Meno dettaglio



**Più dettaglio
(e realismo)**

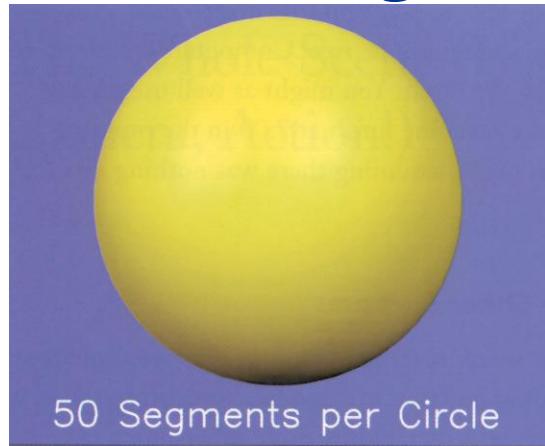
Ma anche:

- + tempo di modellazione
- + tempo per il rendering
- + spazio in memoria

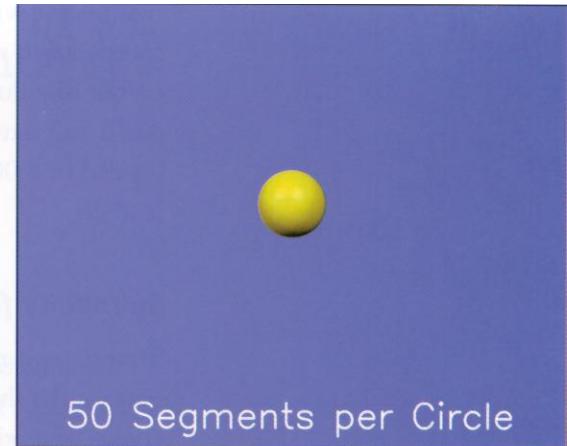


Quale è il giusto livello di dettaglio?

Più dettaglio

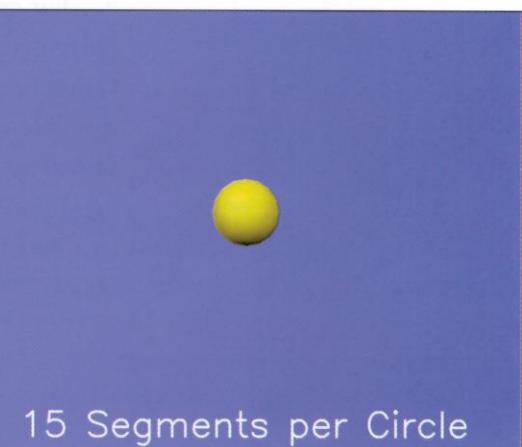
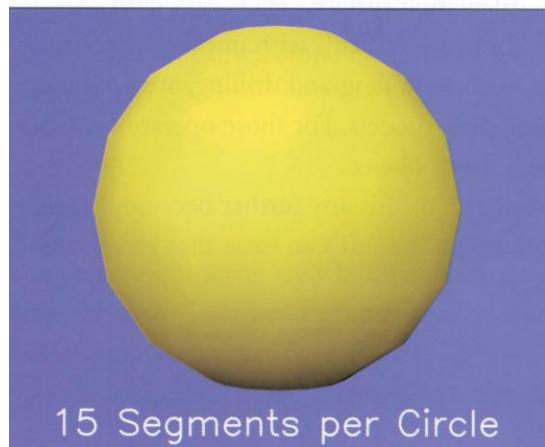


Meno dettaglio



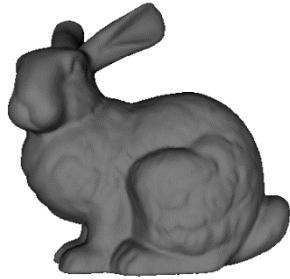
Oggetti distanti o
piccoli sullo schermo
richiedono meno
dettaglio

un livello di dettaglio dinamico
permette di avere un rendering
adeguato con una complessità
computazionale minore

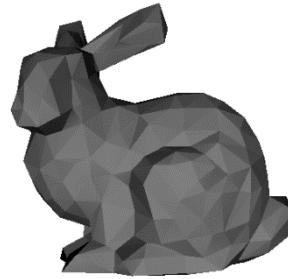


Livello di dettaglio (LOD) della Rappresentazione poligonare

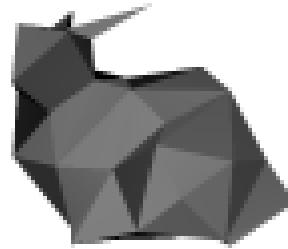
- Gli oggetti di forma libera (superfici curve) sono **semplificati**.
- numero di elementi alto = maggiore precisione
- Oggetti lontani, quindi piccoli sul monitor sono semplificati senza che ne risenta la visualizzazione (LOD).



69451



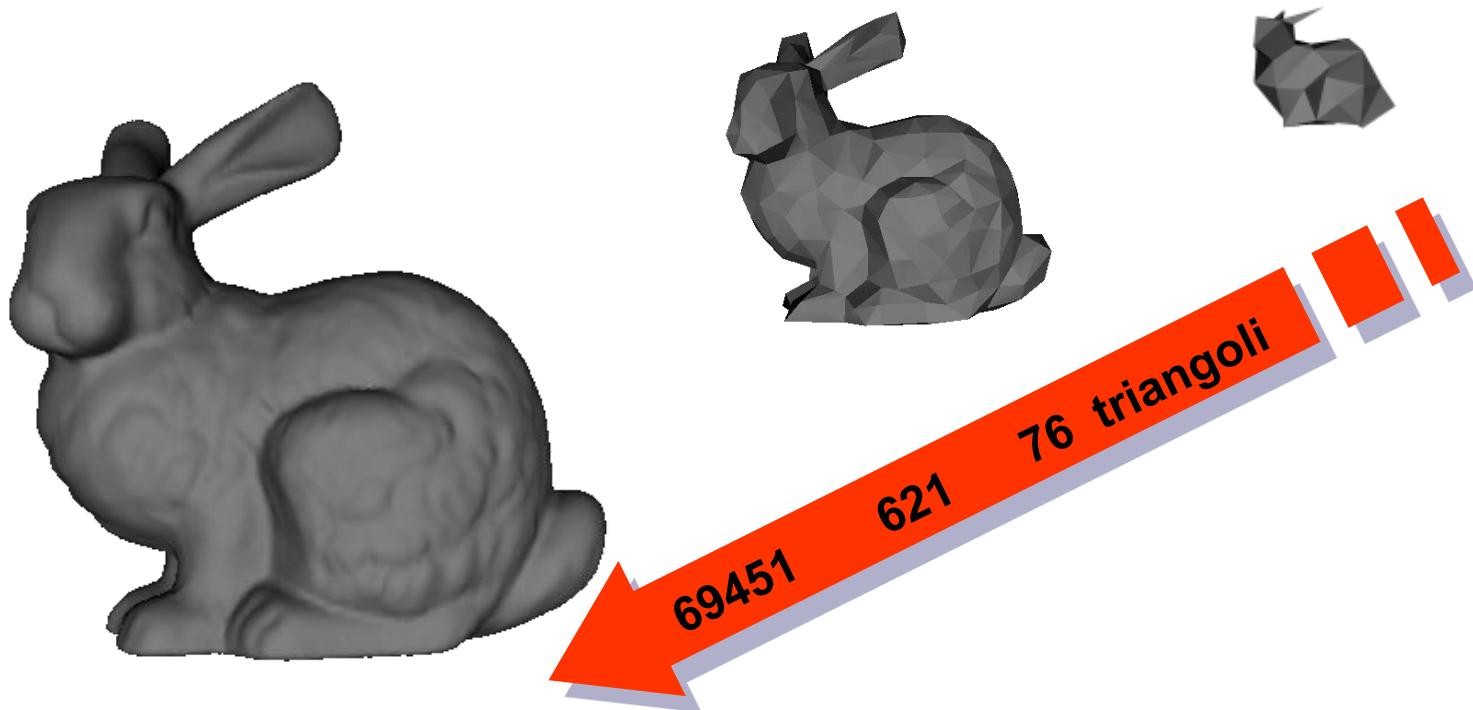
621



76 triangoli

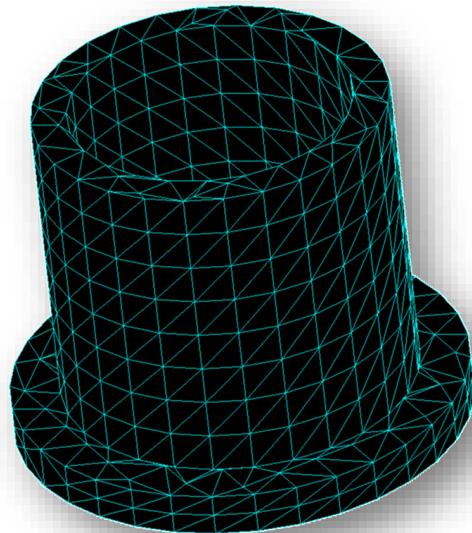


Esempio di Lod

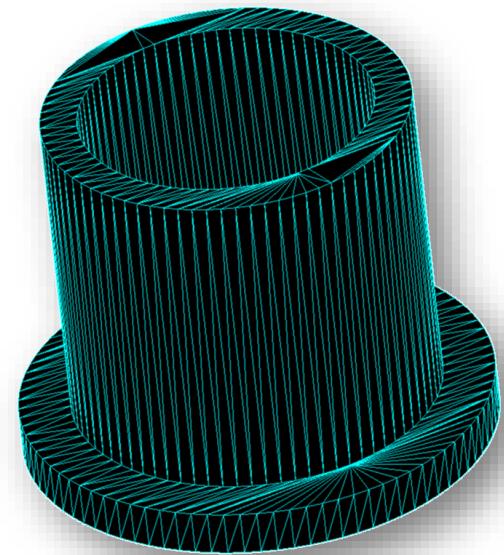
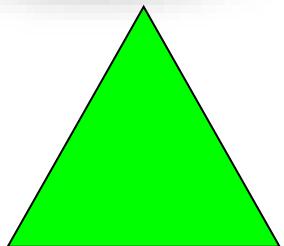


Quality of tessellation

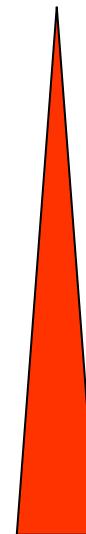
Nearly equilateral triangles indicate an optimized tessellation.



Good!



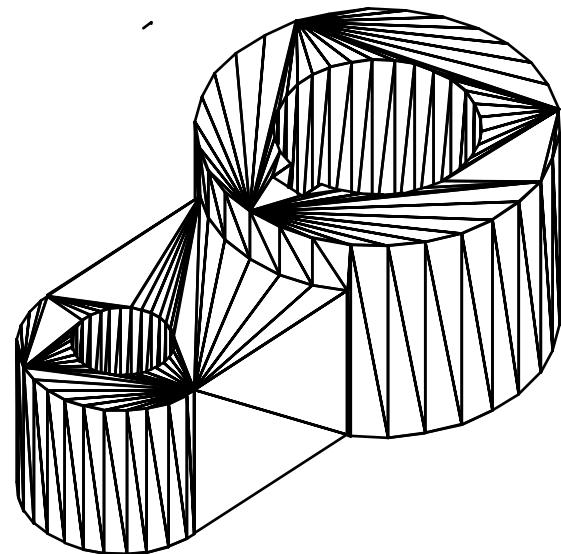
No Good!



Classificazione della rappresentazione poligonare

In base al tipo di struttura dati:

- **Senza connettività** (es. modelli da reverse engineering o da scansione 3D) (ci sono sovrapposizioni per ogni vertice condiviso), molto più pesante
- **Con Connnettività** (o con vertici condivisi) solitamente derivano dalla modellazione diretta al CAD.

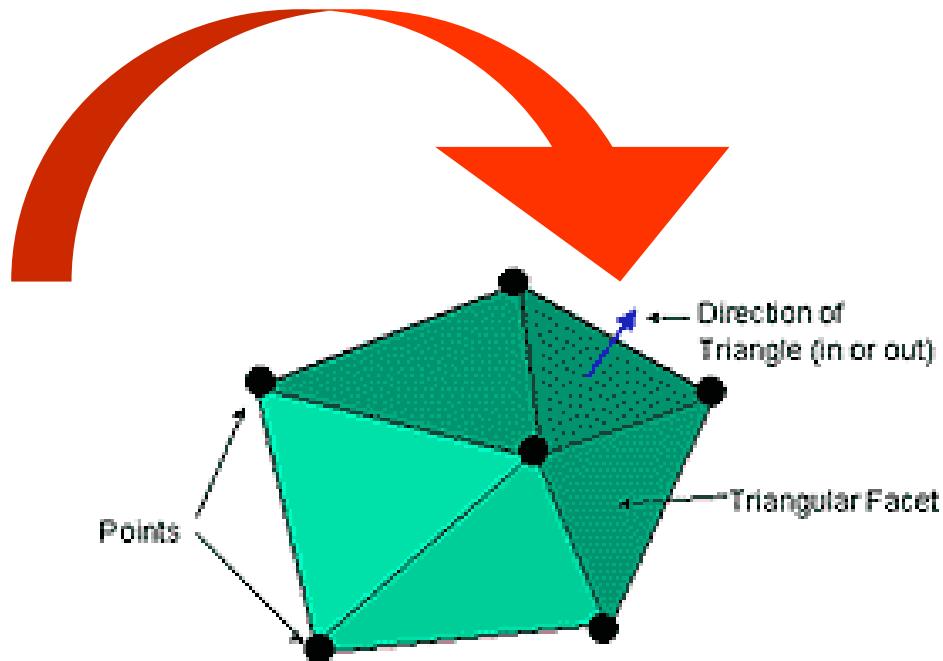


Rappresentazione poligonare senza connettività

- Per **ciascun** poligono (triangoli) si memorizzano le coordinate dei **vertici** e la **normale** (verso l'esterno)
- Struttura dati risultante molto **semplice**, ma **non compatta** (molti vertici sono ripetuti migliaia di volte!!)
- **Universale** in quanto è utilizzata dallo standard di archiviazione **.STL** (Stereolithography della 3D labs) –ASCII o binario

Il formato STL

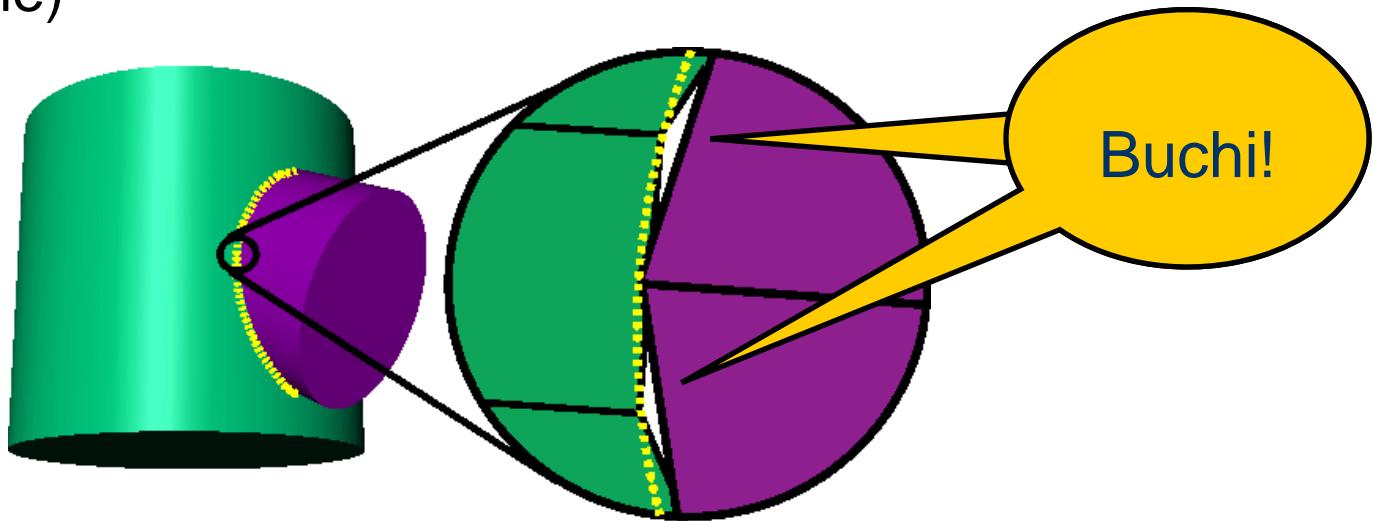
```
solid <part name>
  facet normal -1 0 0
    outer loop
      vertex 1 1 1
      vertex 1 1 2
      vertex 1 2 1
    endloop
    endfacet
  facet normal 0 -1 0
    outer loop
      vertex ...
    endloop
    endfacet
endsolid <part name>
```



Ripetizione per ciascun triangolo-> file grandi !!

Limiti della rappresentazione poligonare senza connettività

- Rappresentazione approssimata (precisione <-> dimensione del file)
- Import-export: (non c'e nessun controllo interno!)
- Non estendibile: contiene solo la geometria!!
- Arrotondamenti durante la modellazione(es. Operazioni booleane)



decimazione: riduzione del numero di triangoli
(importante)

Rappresentazione poligonare con connettività

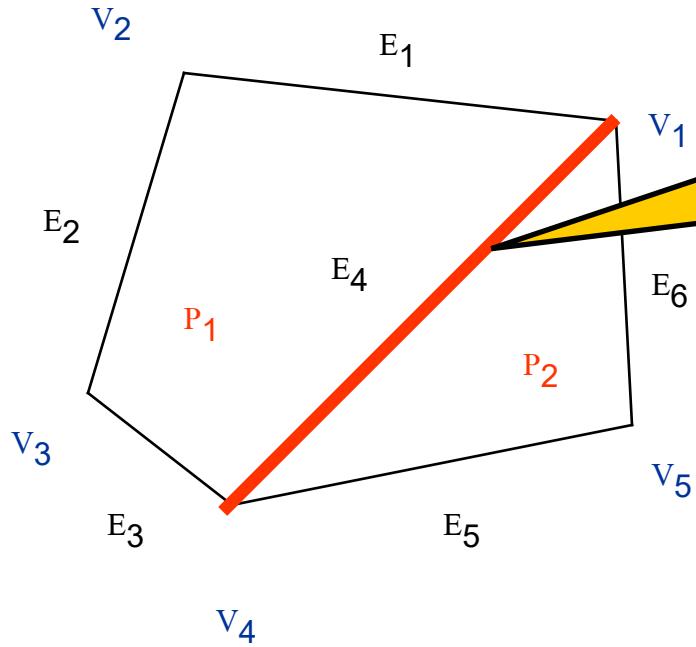
Gli oggetti sono rappresentati con i vertici e la loro connettività.

Queste informazioni sono archiviate in tabelle.

- Tabella dei vertici
- Tabella degli spigoli
- Tabella dei poligoni

Le tabelle vengono salvate in memoria e sul file.

Rappresentazione poligonare con connettività



Spigolo e
vertici
condivisi

E4, V1, V4
condivisi: non
vengono disegnati
2 volte!!

$P_1 : E_1, E_2, E_3, E_4$
 $P_2 : E_4, E_5, E_6$

Tabella dei
Poligoni

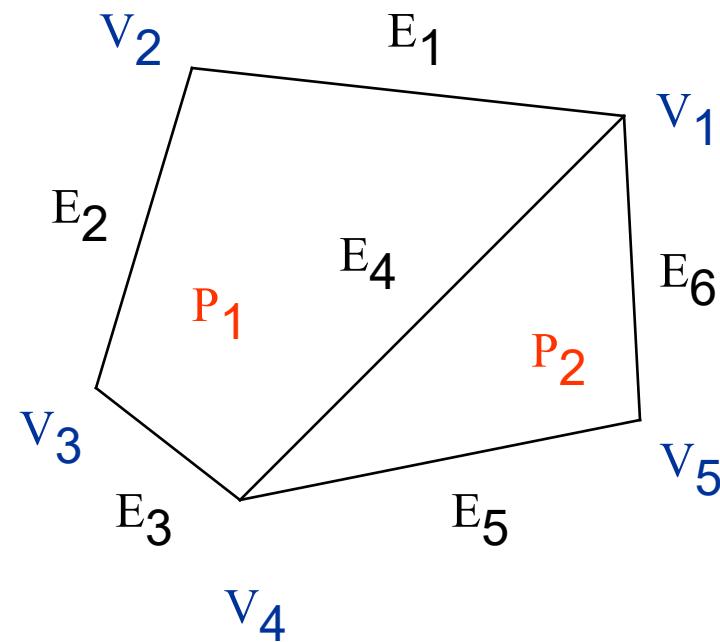
$V_1 : x_1, y_1, z_1$ $V_4 : x_4, y_4, z_4$
 $V_2 : x_2, y_2, z_2$ $V_5 : x_5, y_5, z_5$
 $V_3 : x_3, y_3, z_3$

Vertici

$E_1 : V_1, V_2$
 $E_2 : V_2, V_3$
 $E_3 : V_3, V_4$
 $E_4 : V_4, V_1$
 $E_5 : V_4, V_5$
 $E_6 : V_5, V_1$

Tabella degli Spigoli

Verifica di correttezza dei dati



- I vertici devono appartenere al punto finale di almeno 2 bordi
- Ciascun bordo deve appartenere ad almeno un poligono
- Tutti i poligoni sono chiusi
- Tutti i poligoni hanno almeno un bordo condiviso

In lettura e scrittura di file si **verifica la correttezza** dei dati ed eventualmente bisogna **ripararli!**

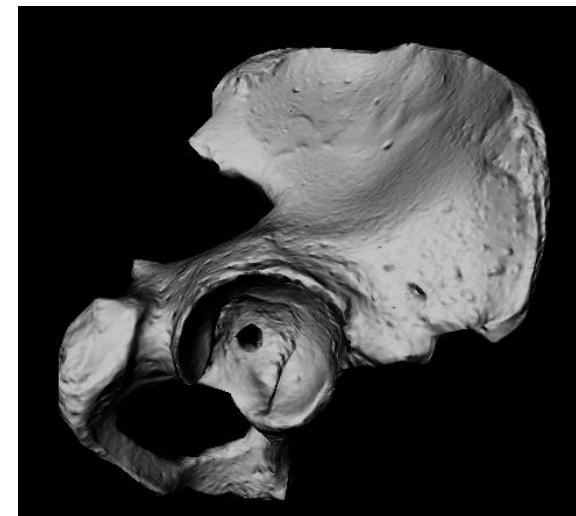
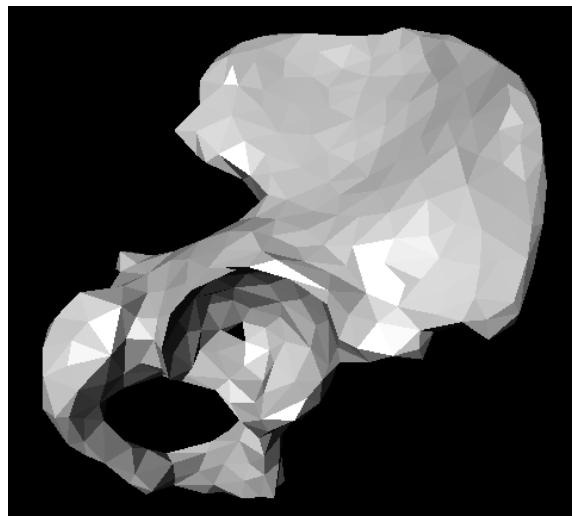
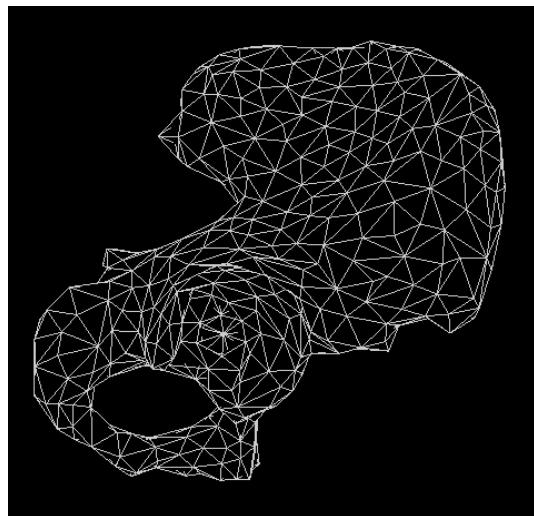
Applicazioni ingegneristiche dei modelli poligonali

- **Visualizzazione**: tutto ciò che vediamo su un monitor è trasformato in triangoli (tessellation)
- Output dei sistemi di **reverse engineering** (formato STL)
- **Input** di sistemi di prototipazione rapida (esempio stereolitografia).
- **Visualizzazione compatta** dei modelli 3D su web (vrml, 3dxml, java3D)

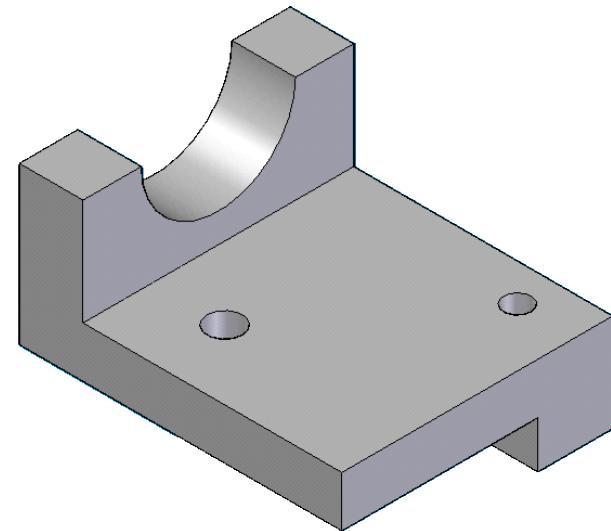
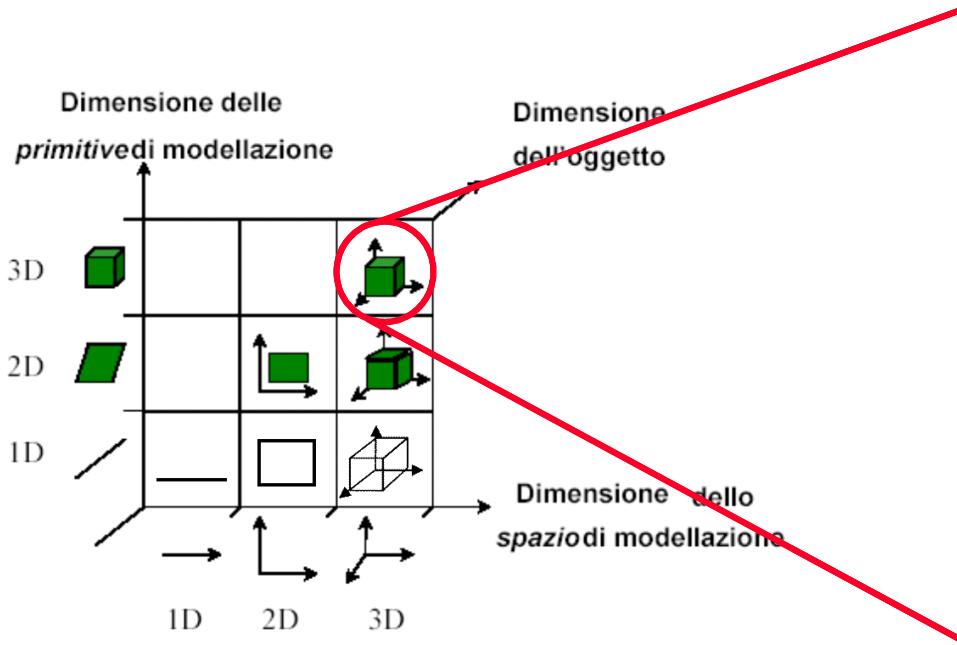
Trucchi e inganni!!

La ricerca nel campo dei videogiochi ha portato al miglioramento del lato estetico, a partire da modelli poligonali molto semplici (texture, bump mapping).

Il risultato **approssimato**: sembra preciso ma non lo è!!



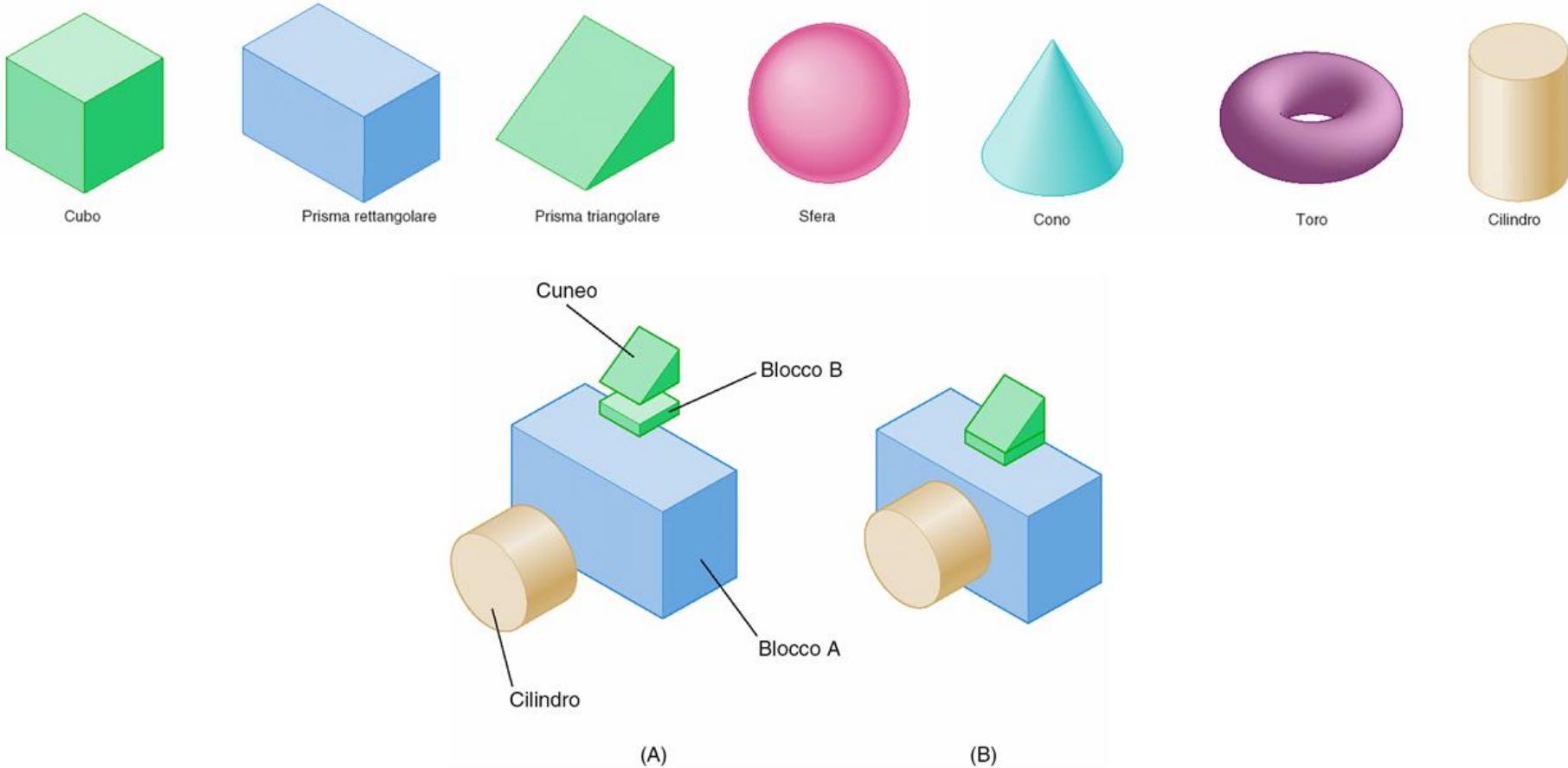
Modellazione con elementi solidi



- Primitive Instancing***
- Sistemi basati su primitive solide e metodi costruttivi (C.S.G.)**
- Sistemi basati sulla decomposizione:**
 - ✓ per enumerazione spaziale
 - ✓ Octree

Primitive Instancing

- A partire da semplici primitive solide si possono ottenere alcuni oggetti solidi di forma non complessa.
- Combinando in differenti modi le primitive
- Gli oggetti ottenuti sono molto limitati



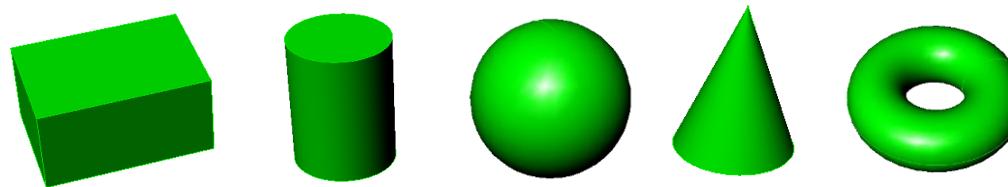
posso solo "appoggiare" due solidi uno sull'altro

Modellazione C.S.G.

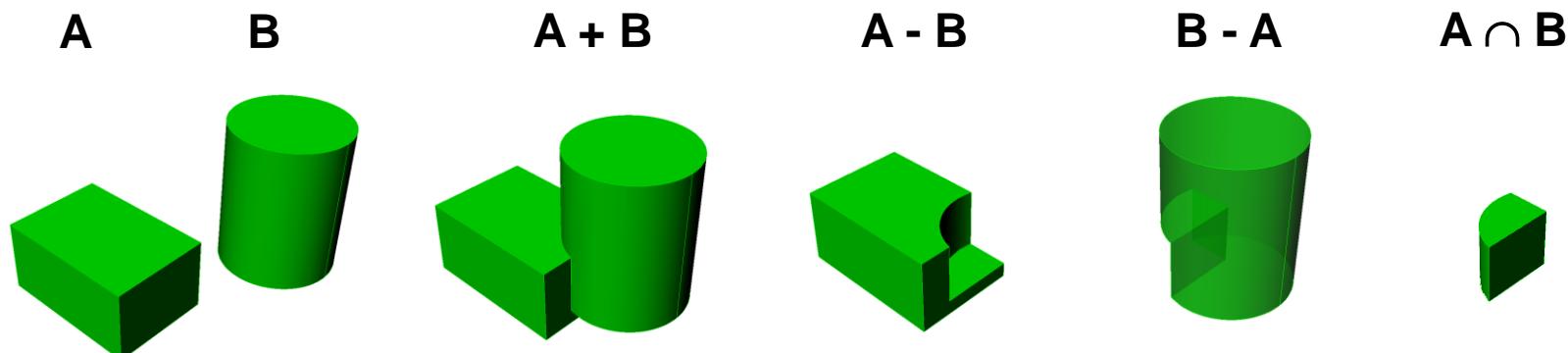
C.S.G. = Constructive Solid Geometry

Il solido è rappresentato come composizione di istanze parametrizzate di primitive di solidi mediante operazioni booleane e moti rigidi.

Parallelepipedo – Cilindro – Sfera – Cono – Toro

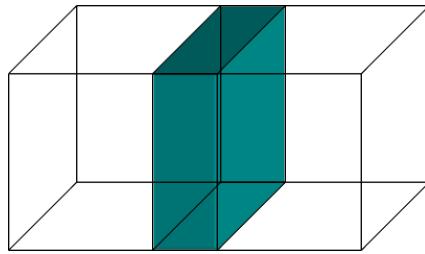


Le primitive di solito possono essere scalate, ruotate, traslate prima di essere combinate con gli operatori booleani (Unione – Sottrazione – Intersezione).



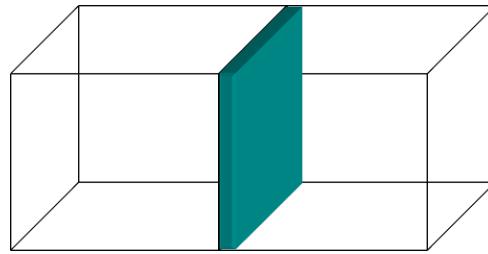
Esempi di intersezioni tra solidi

solido valido

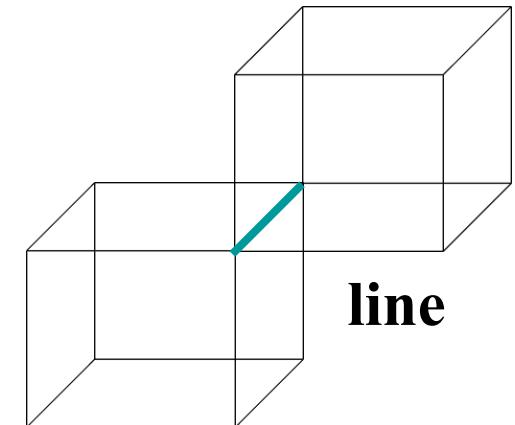


solid

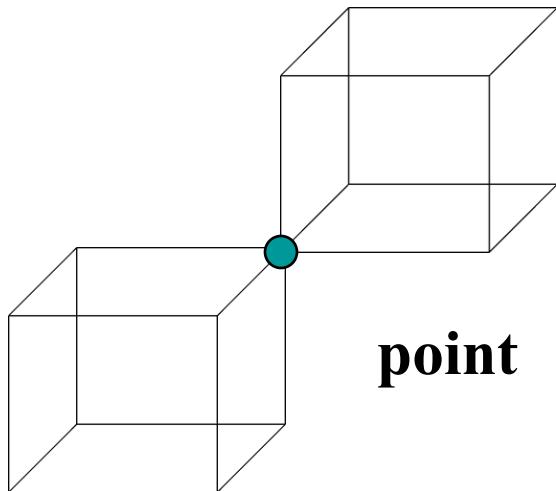
solidi non validi



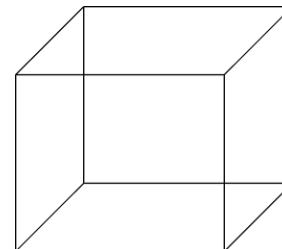
plane



line



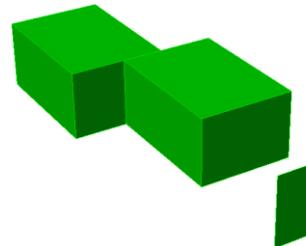
point



null

Operazioni booleane nel C.S.G.

Le operazioni booleane su solidi non danno come risultato sempre un “solido”



$A \cap B$ è una superficie!

Necessità di Operazioni booleane “regolarizzate”

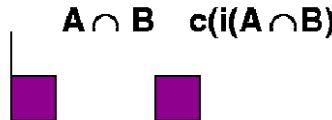
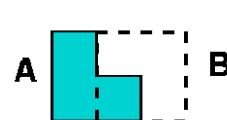
- 1) Effettuare l'operazione “tradizionale”, che può generare un elemento non solido (superficie o curva).
- 2) Calcolare l'interno dell'oggetto ottenuto. Vengono rimosse tutte le entità di livello inferiore. Il risultato è un solido senza il suo contorno.
- 3) Calcolare la chiusura dell'oggetto ottenuto nella fase precedente. Questa operazione aggiunge tutto il contorno all'oggetto.

$$x^2 + y^2 + z^2 = 1$$

$$\text{Interno} \Rightarrow x^2 + y^2 + z^2 < 1$$

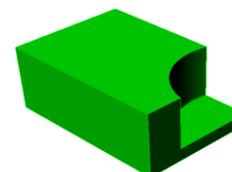
$$\text{Chiusura} \Rightarrow x^2 + y^2 + z^2 \leq 1$$

$$\text{Esterno} \Rightarrow x^2 + y^2 + z^2 > 1$$



$A +^* B$	= chiusura (int ($A + B$))
$A \cap^* B$	= chiusura (int ($A \cap B$))
$A -^* B$	= chiusura (int ($A - B$))

$$A -^* B$$



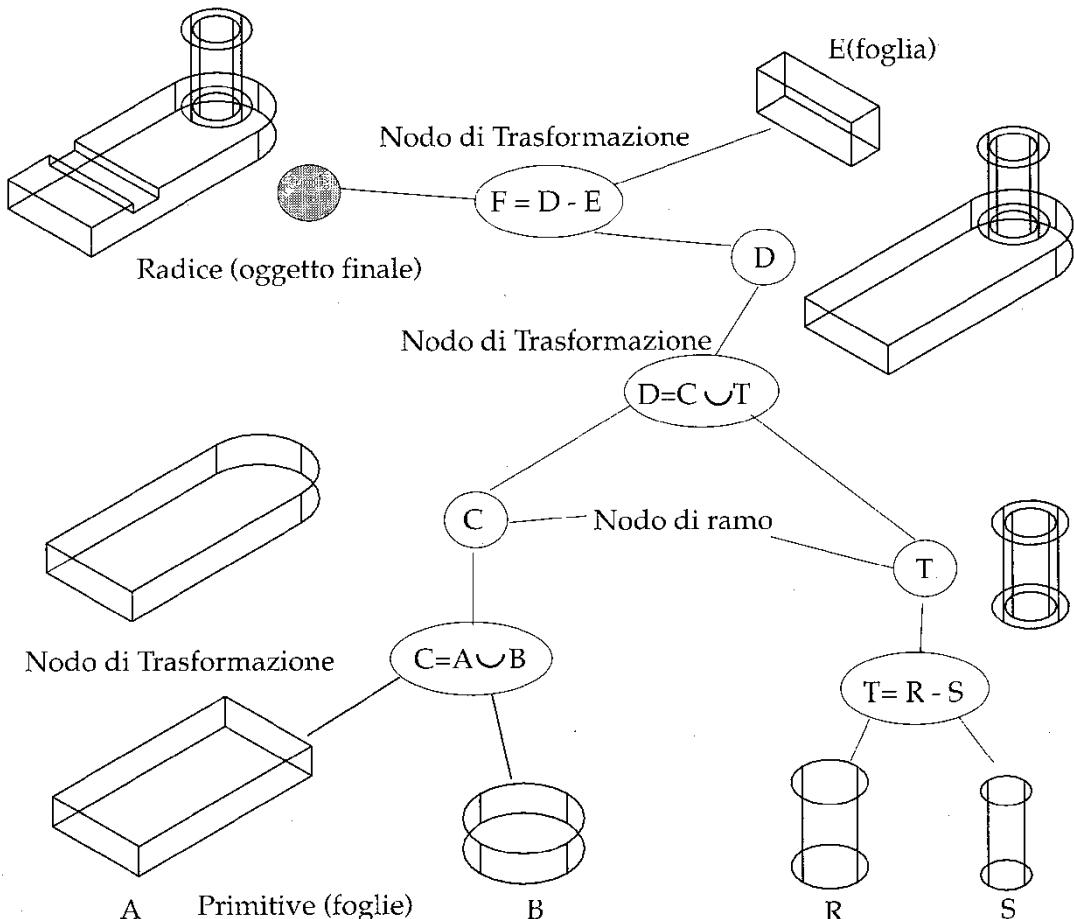
Albero C.S.G.

Il modello solido è rappresentato implicitamente attraverso una struttura ad albero che riporta la combinazione di operazioni booleane e trasformazioni geometriche (traslazione, rotazione, scala) su solidi primitivi.

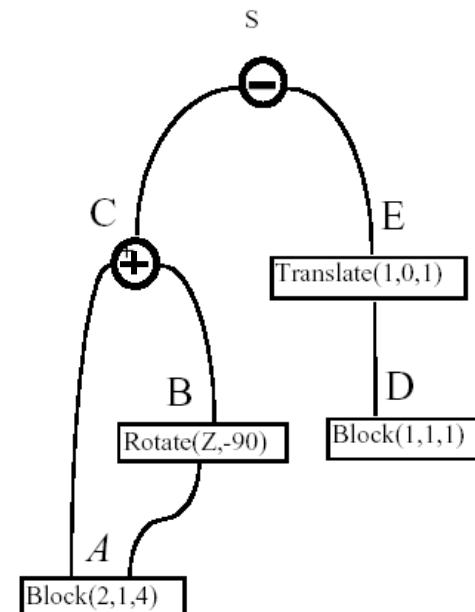
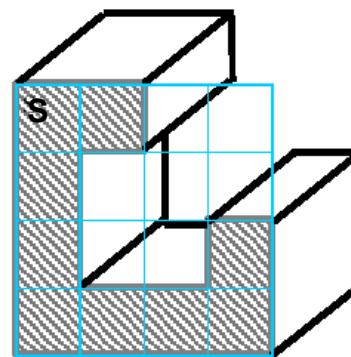
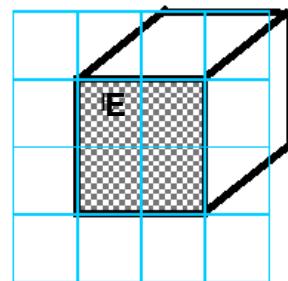
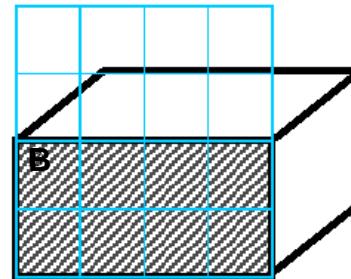
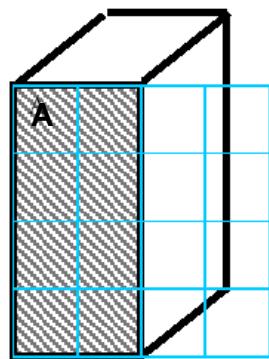
Il solido è descritto come una sequenza di operazioni.

Le foglie dell'albero CSG sono le primitive solide ed i nodi indicano le trasformazioni booleane.

Prima di effettuare un'operazione booleana è necessario posizionare nello spazio le primitive.

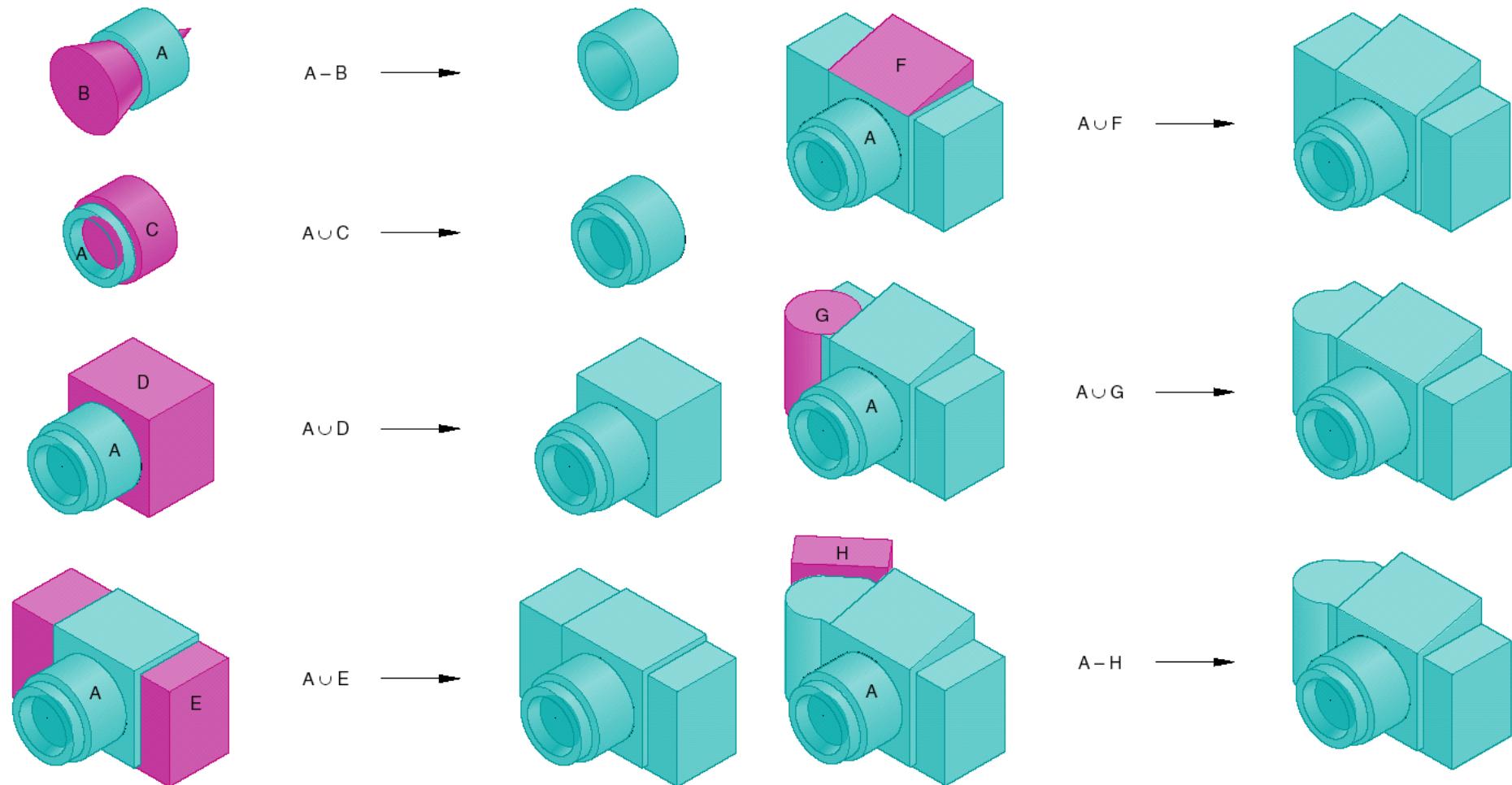


Esempio di albero CSG



```
A=Block(2,1,4);
B=Rotated(A,Z-axis,-90)
C=A+B
D=Block(1,1,1);
E=Translated(D,1,0,1);
S=C-E;
```

Esempio di modellazione CSG



3D Knowledge Based Modeling

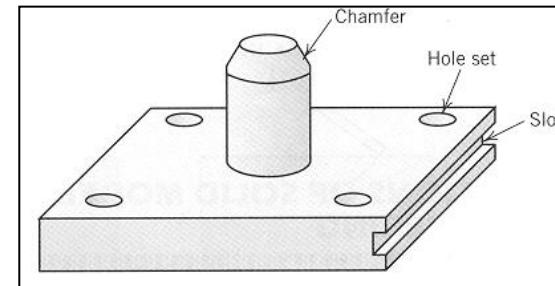
feature: lavorazione

Feature Based Parametric Modeling

Strong link between CAD and CAM

The manufacturing characteristics (features) are
“embedded” in the CAD modeler

ogni feature ha dei parametri
che possono essere modificati
durante la progettazione

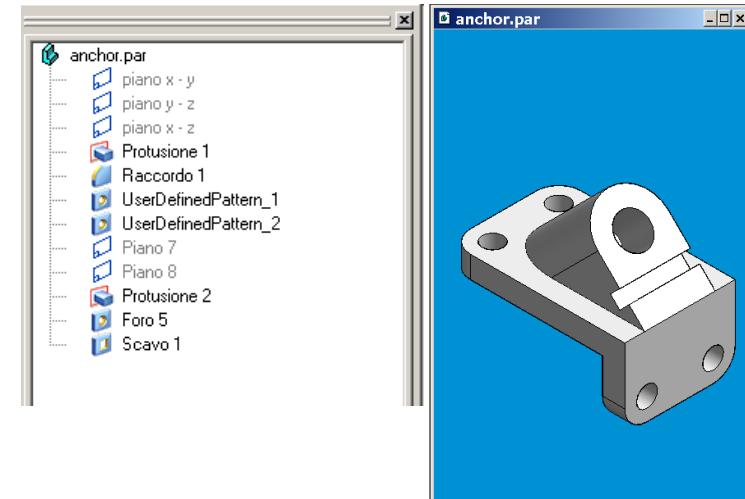


Feature control by means of parameters: Parametric approach

The features are organized in a tree that represents the history of modeling

Most 3D CAD systems are feature-based

Feature-based modelers use some aspects of CSG and B-rep in a combined way



Importante

3D Knowledge Based Modeling

Feature Based Parametric Modeling

- You start with a simple basic model and add features
- Features represent manufacturing “operations” such as holes, ribs, fillets, chamfers, cutouts, etc.
- The material can be added or subtracted, as in the CSG
- Features are not limited to just simple primitives but can be generated by extrusion, sliding, revolving, etc.
- The modeling history is stored in the form of a feature tree like the Boolean tree in the CSG

feature:

- di dettagliatura (raccordo etc)
- di schizzi



3D Knowledge Based Modeling

Feature Based Parametric Modeling

The geometry is defined by first creating a 2D profile on a sketching plane which is then “extended” into 3D

This 3D “extension” can take place by means of:

- *Extrusion (protrusion)*
- *Revolution*
- *Sweeping*
- *Lofting (blending) (passing through multiple profiles)*

These operations can add or subtract material

estrusione: lavorazione meccanica che deforma il materiale (portato ad una temperatura adatta) attraverso uno stampo (?)

oggetto assial simmetrico: ottenuto dalla rivoluzione di un oggetto intorno ad un asse. Possiamo quindi riconoscere un'asse comune ad infiniti piani (stella di piani) rispetto a cui l'oggetto è simmetrico.

visto dall'alto vedo solo circonferenze (?)

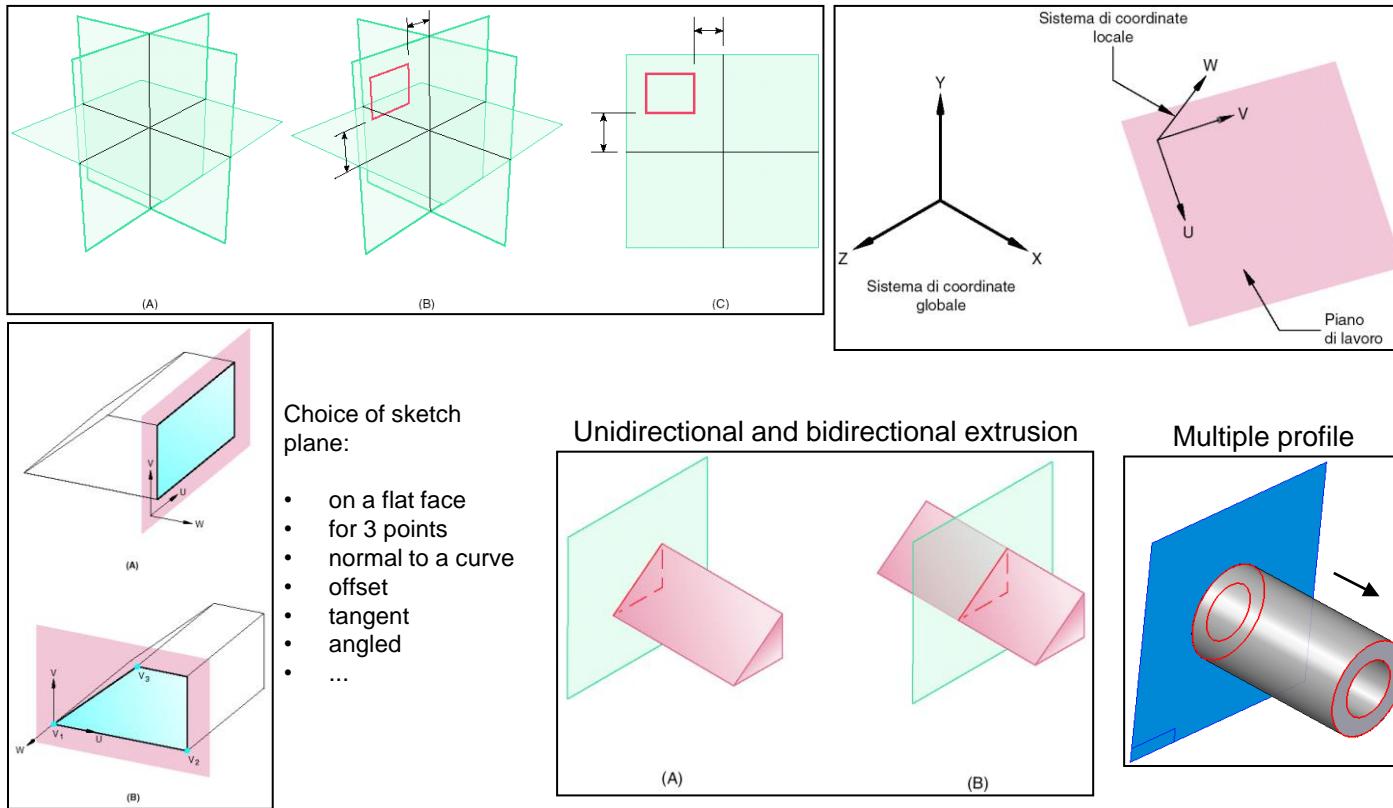
sweeping: estrusione non lineare

lo schizzo va fatto su un primo piano (piano di schizzo)



3D Knowledge Based Modeling

Feature Based Parametric Modeling

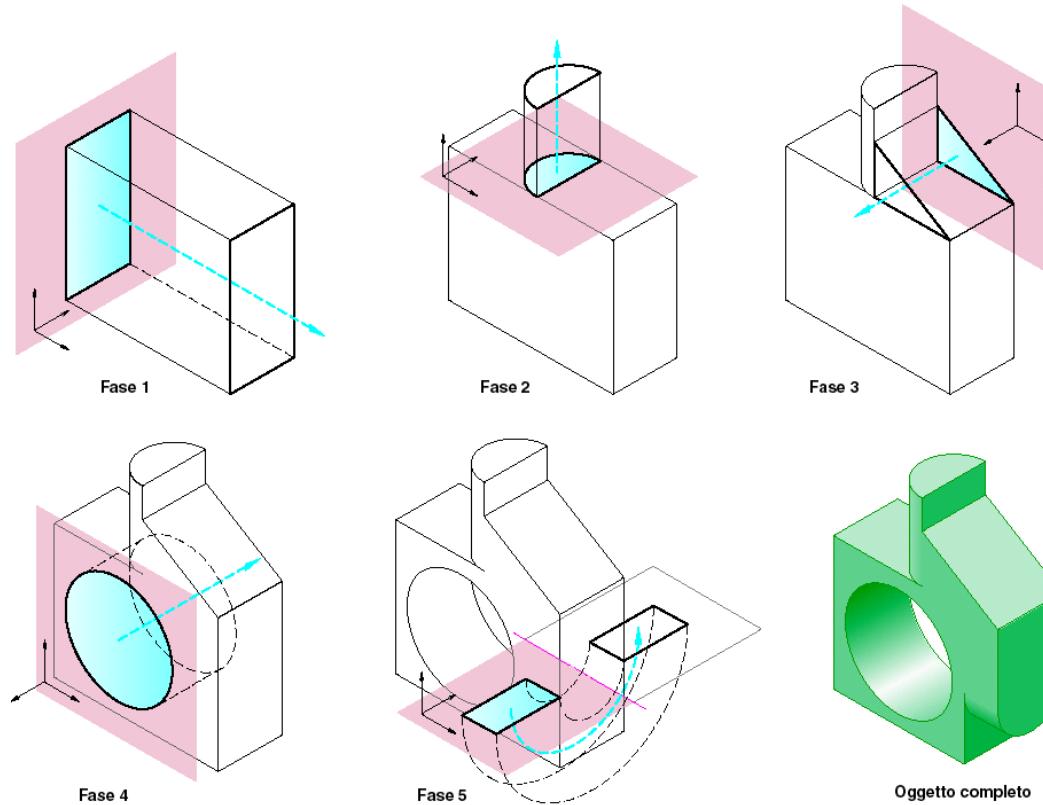


definire un piano di lavoro
definire un profilo per il piano (inizialmente uno schizzo)

3D Knowledge Based Modeling

feature di schizzo

Feature Based Parametric Modeling



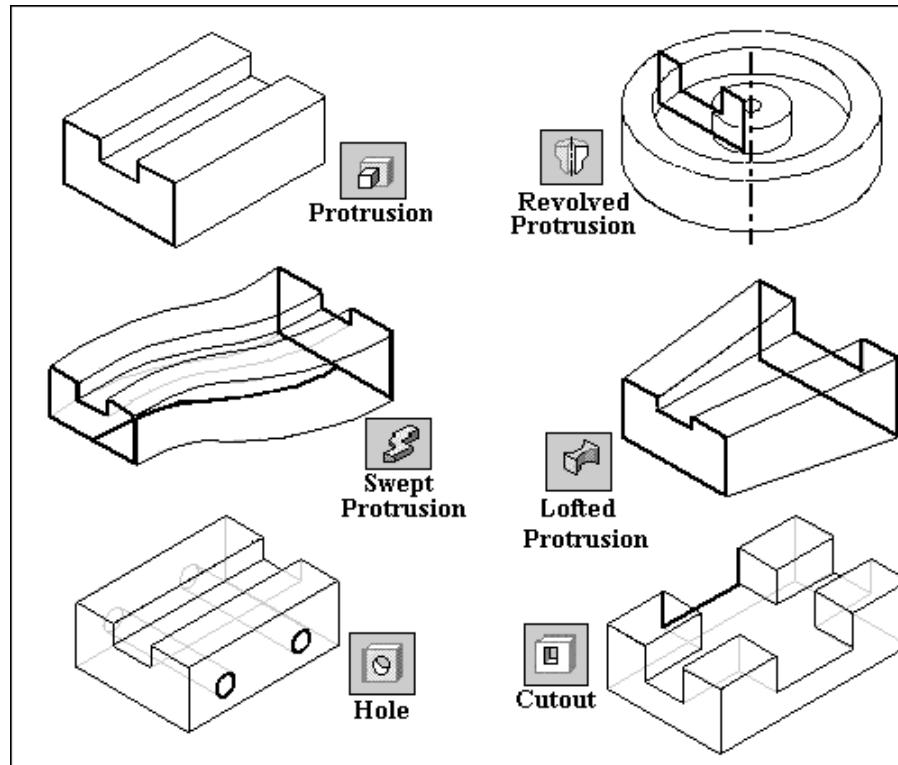
lavorazioni fatte per asportazione di materiale (truciolo)/
adding manufacturing.



3D Knowledge Based Modeling

Feature Based Parametric Modeling

Main Modeling Tools



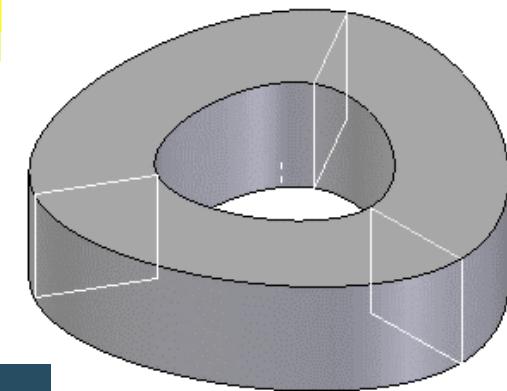
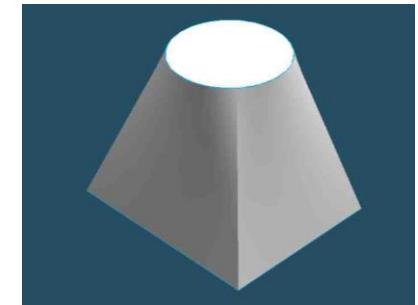
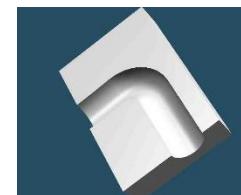
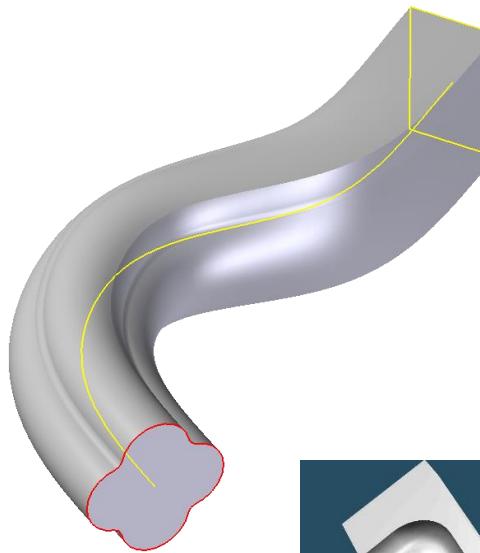
3D Knowledge Based Modeling

Feature Based Parametric Modeling

Main Modeling Tools

SWEEP

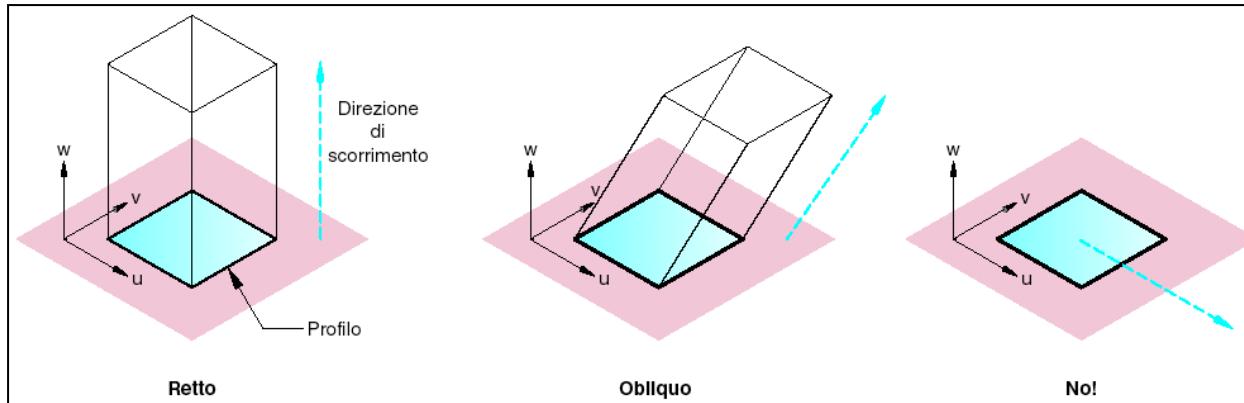
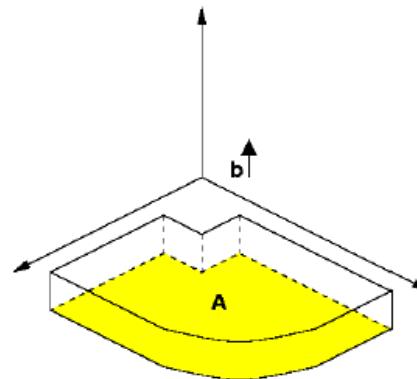
- Sliding profile
- Path curve (spines)
- Eventual guide curve
- Any additional passage profiles



Rappresentazione SWEEP

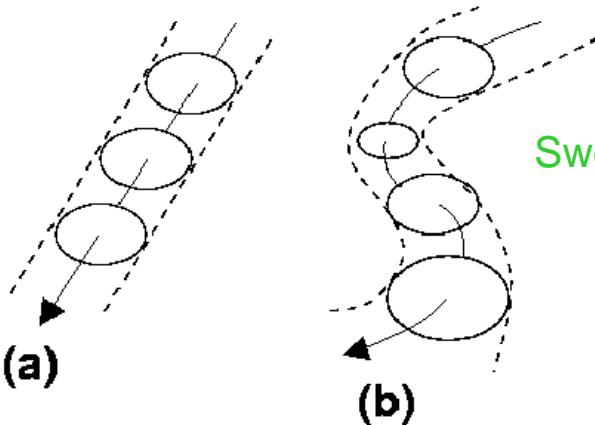
Sweep = Scorrimento

1. Creazione di un profilo piano
2. Assegnazione di una direzione
3. Estrusione del profilo lungo la direzione

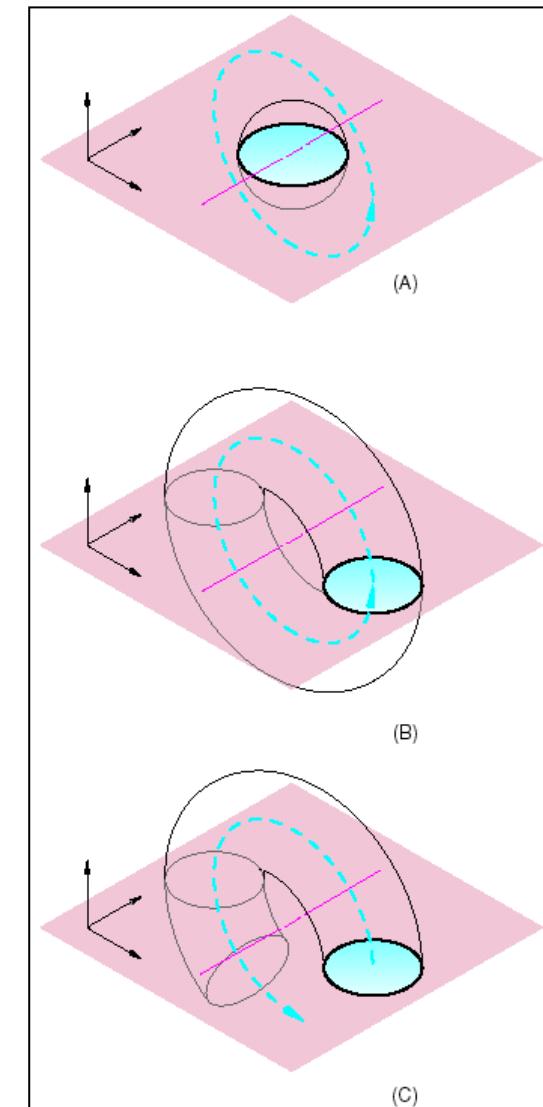


Sweep lineare

estrusione: sweep lineare secondo la direzione normale al piano di lavoro.

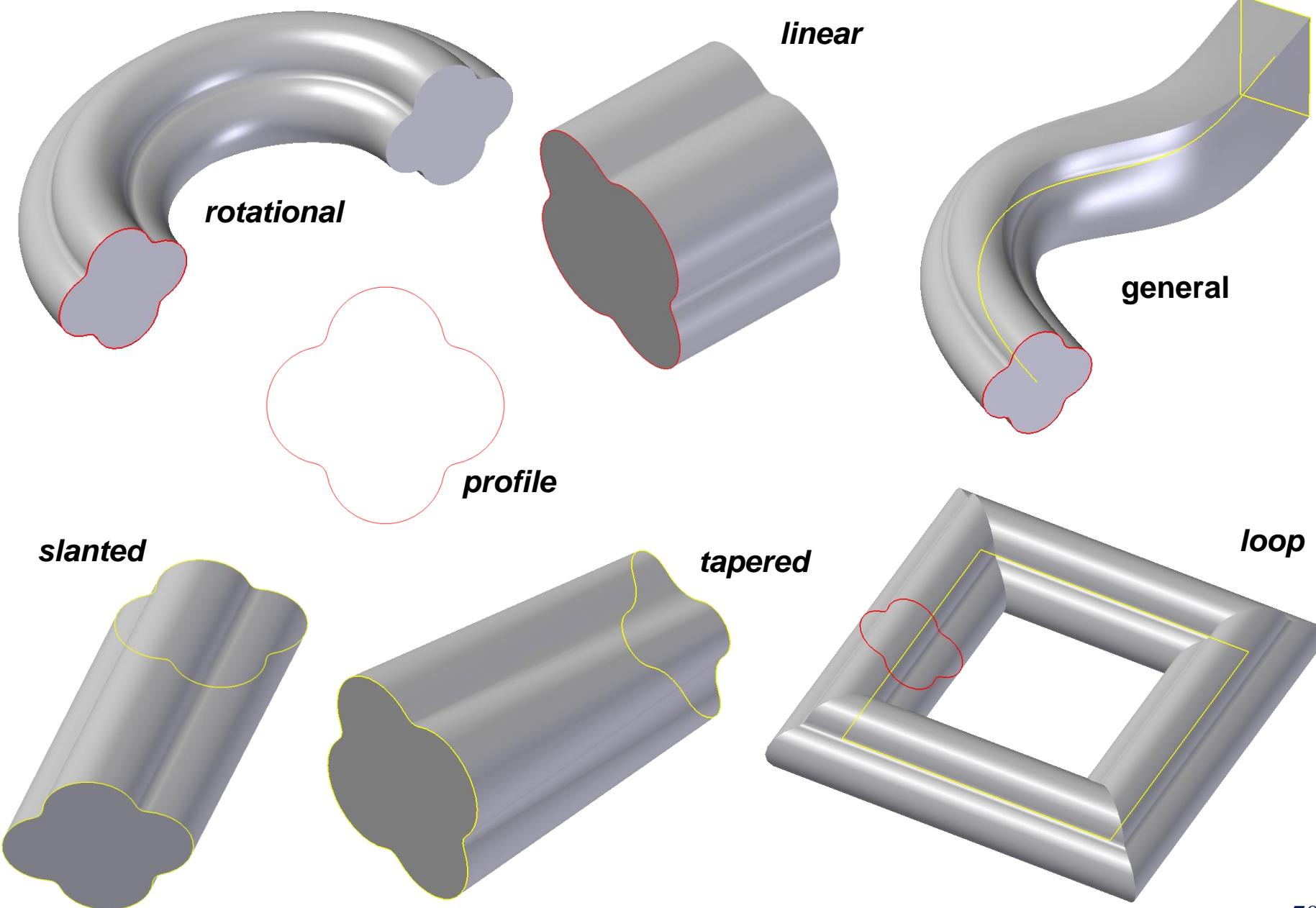


Sweep generale



Sweep rotazionale

Esempi di operazioni di SWEEP



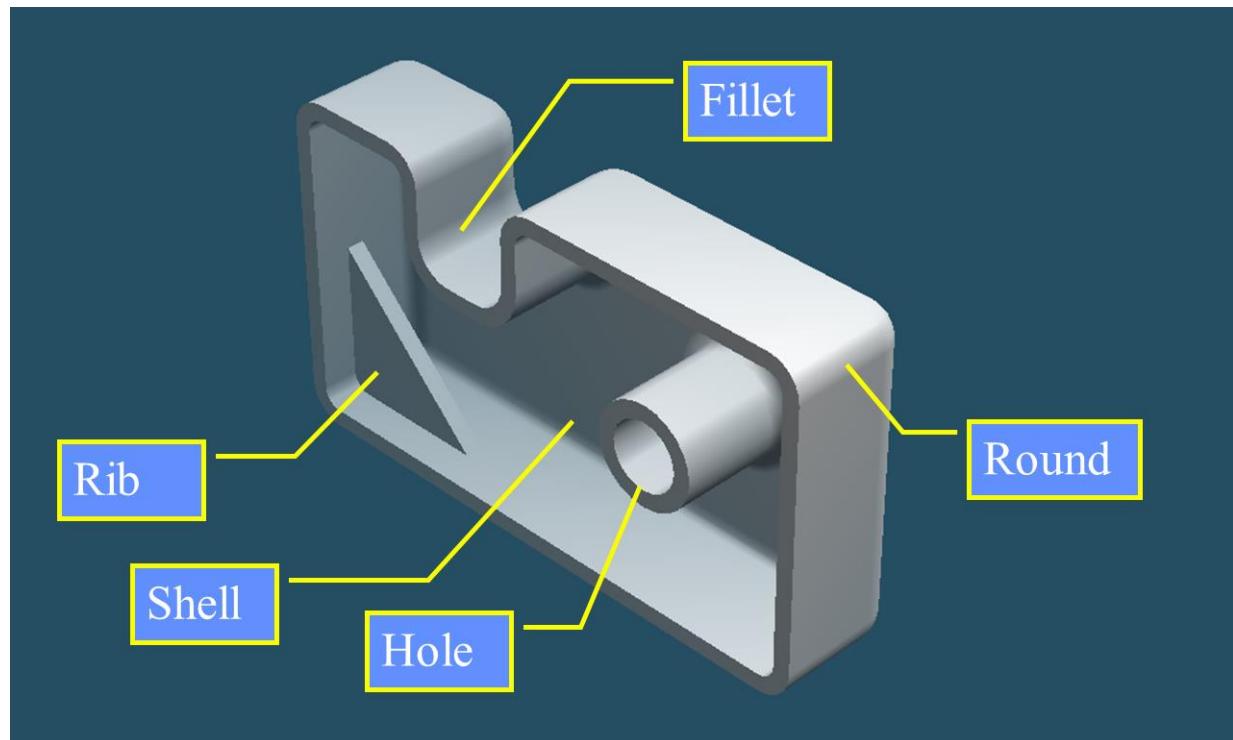
3D Knowledge Based Modeling

feature di dettagliatura

Feature Based Parametric Modeling

Main Modeling Tools

Fillets, chamfers
Shells (emptying)
Holes
Ribs



3D Knowledge Based Modeling

Feature Based Parametric Modeling

Alternative modeling approaches

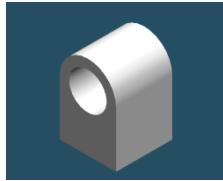
- There are usually many ways of modeling the same object
- A good approach takes a few steps and is easy to modify if necessary
- Think about which steps to use in modeling before starting!



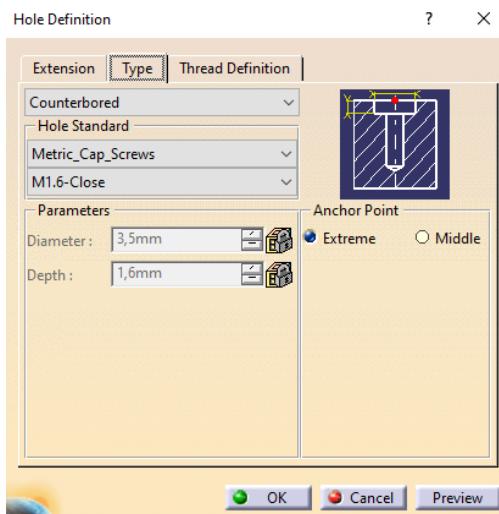
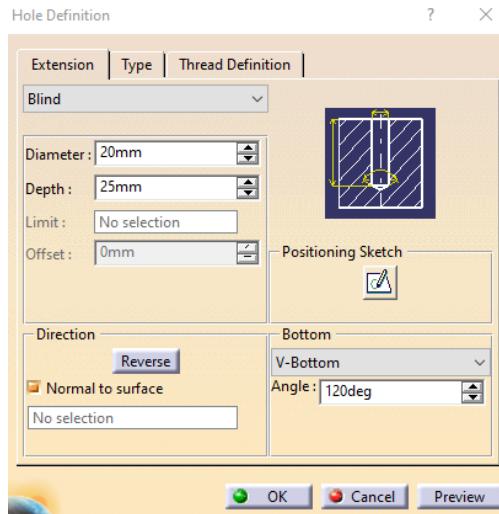
1st
method



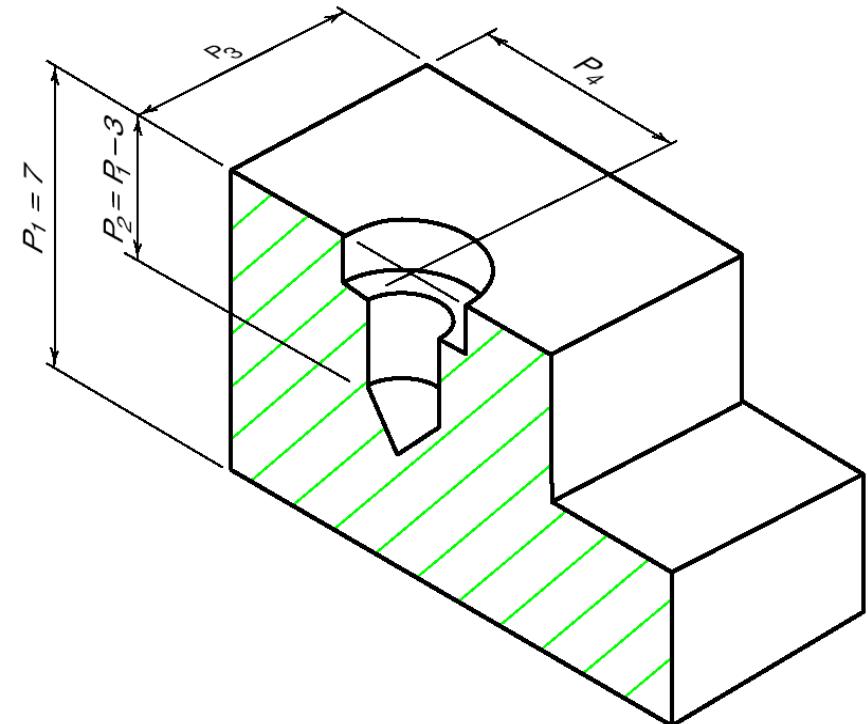
2nd
method



3D Knowledge Based Modeling



Example of feature : counterbored hole



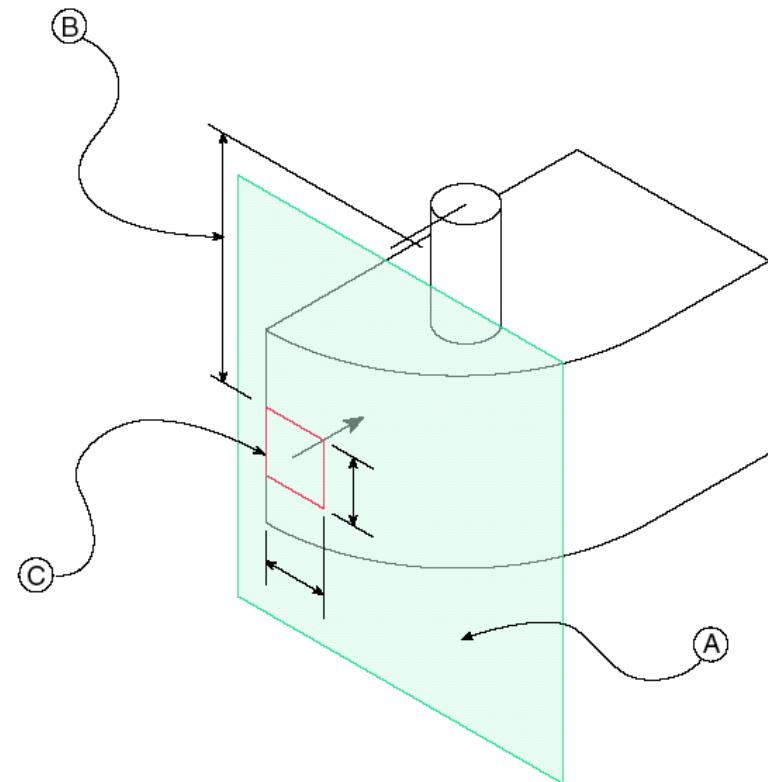
3D Knowledge Based Modeling

Parent-child relationship

The "parent-child" relationship creates a close dependence of a feature (child) on those (parent) with which it has been geometrically constrained

Parents of the new feature:

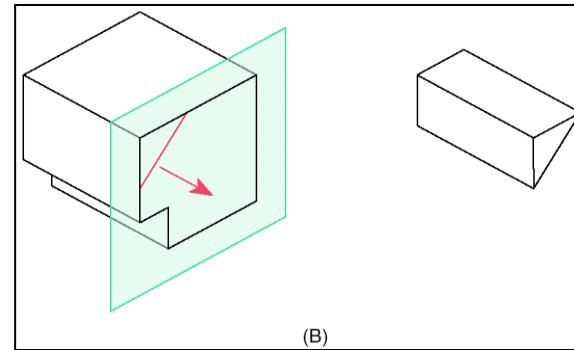
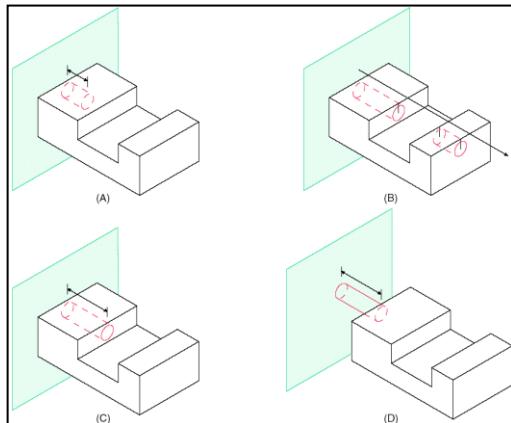
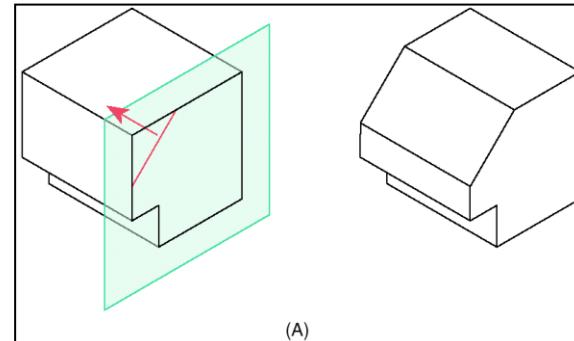
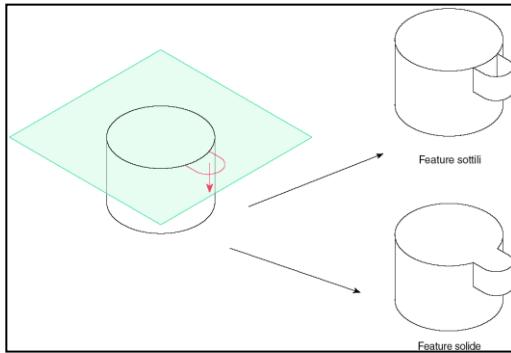
- A) the sketch plane
- B) The dimensional constraint with respect to an existing feature
- C) The overlap constraint to an existing feature



3D Knowledge Based Modeling

Sketch

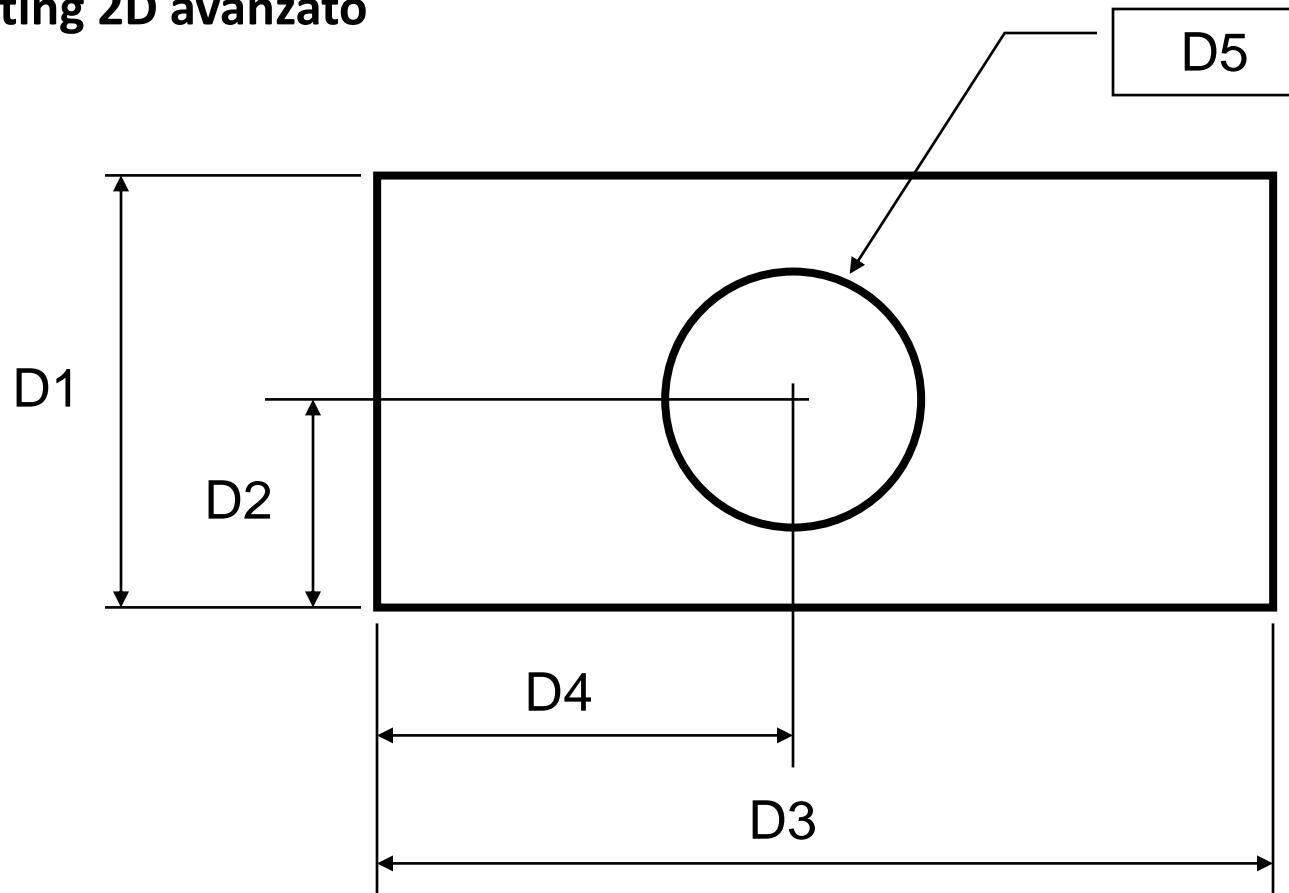
The profile can be constrained to existing geometry and can therefore also be non-closed



Constraint-Based (Parametric) Modeling

Modellazione basata sui vincoli

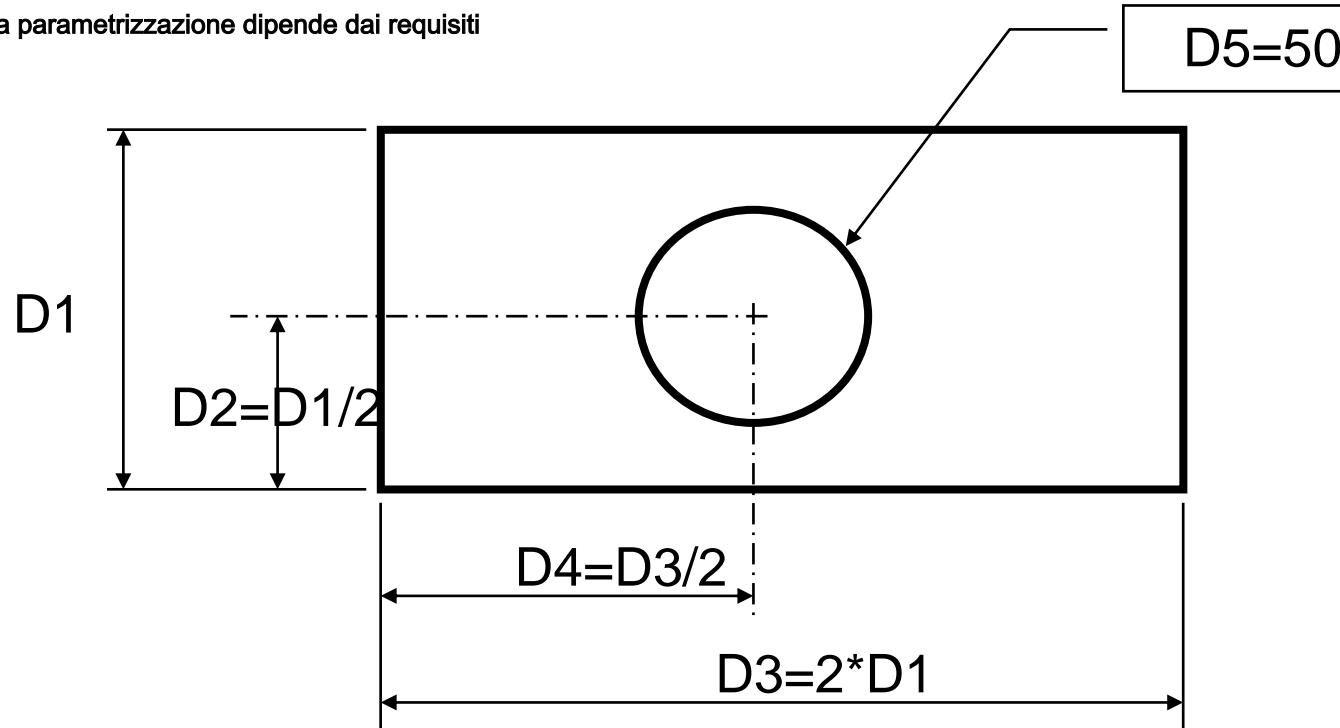
- Anche nota come modellazione parametrica
- L'utente vincola la geometria in base al Design Intent
- Le varianti del progetto possono essere ottenute cambiando alcune dimensioni
- La geometria viene automaticamente rigenerata sulla base dei vincoli
- **Drafting 2D avanzato**



Design Intent

- “La parte deve avere una lunghezza doppia dell’altezza”
- “Il foro deve essere centrato”
- “Il diametro del foro deve essere 50 mm”

la parametrizzazione dipende dai requisiti



Questo può ottersi imponendo condizioni di vincolo (*constraint*)
è possibile scrivere una relazione tra parametri

Tipologie di vincoli

Vincoli geometrici

primi vincoli da mettere

Vincoli dimensionali

posizionamento: prima o ultima cosa da fare

- **Quota orizzontale**
- **Quota verticale**
- **Quota lineare**
- **Quota angolare**
- **Quota radiale**

Mettendo una quota, si crea un parametro. Se il parametro è molto importante è bene dichiararlo prima e assegnargli un valore manualmente

Relazione	Simbolo
Colineare	-•-
Connessione (1 grado di libertà)	×
Connessione (2 gradi di libertà)	◻
Concentrico	◎
Uguale	=
Orizzontale/verticale	+*
Tangente	○
Simmetrico][
Parallela	//
Perpendicolare	⊥

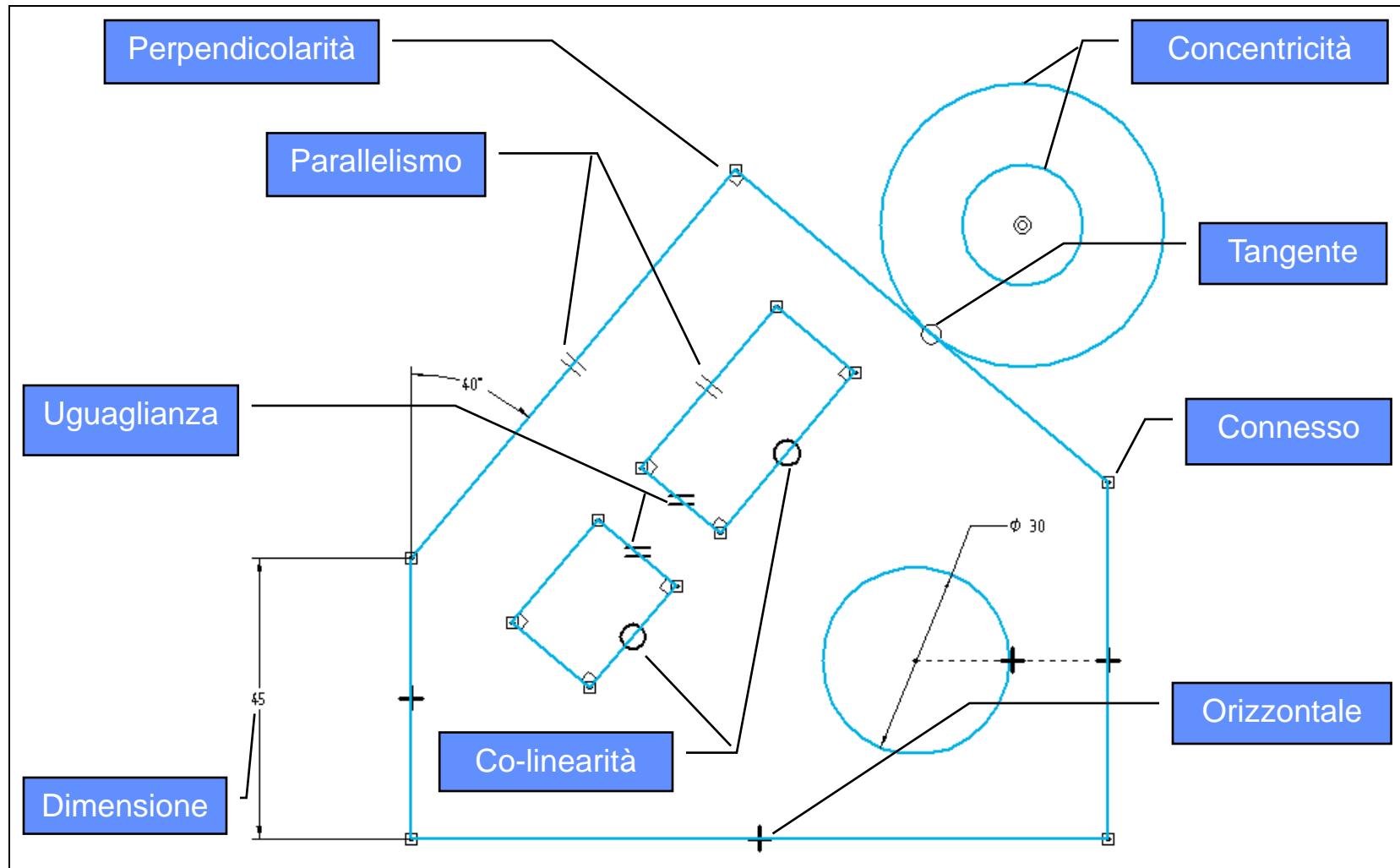
Aggiungi relazioni

- Orizzontale
- Verticale
- Collineare
- Perpendicolare
- Parallello
- Uguale
- Fisso

Aggiungi relazioni

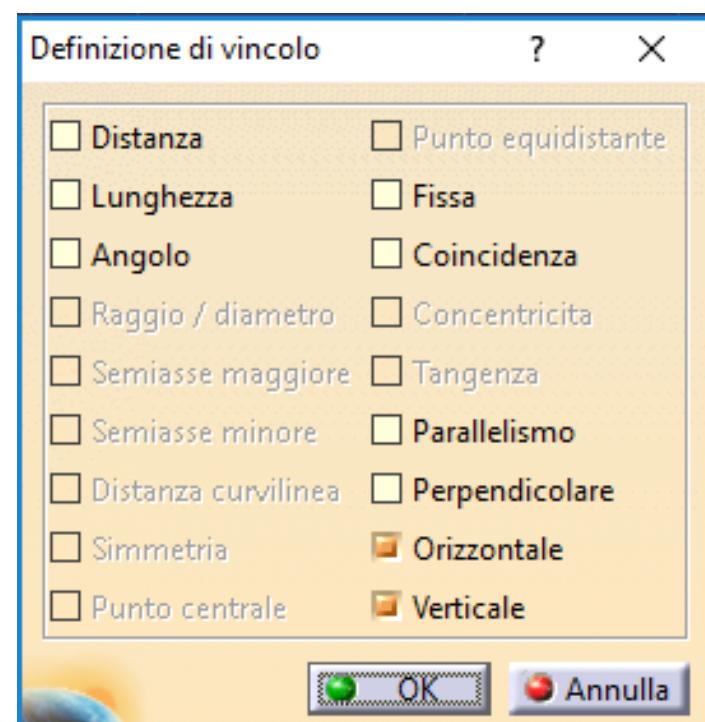
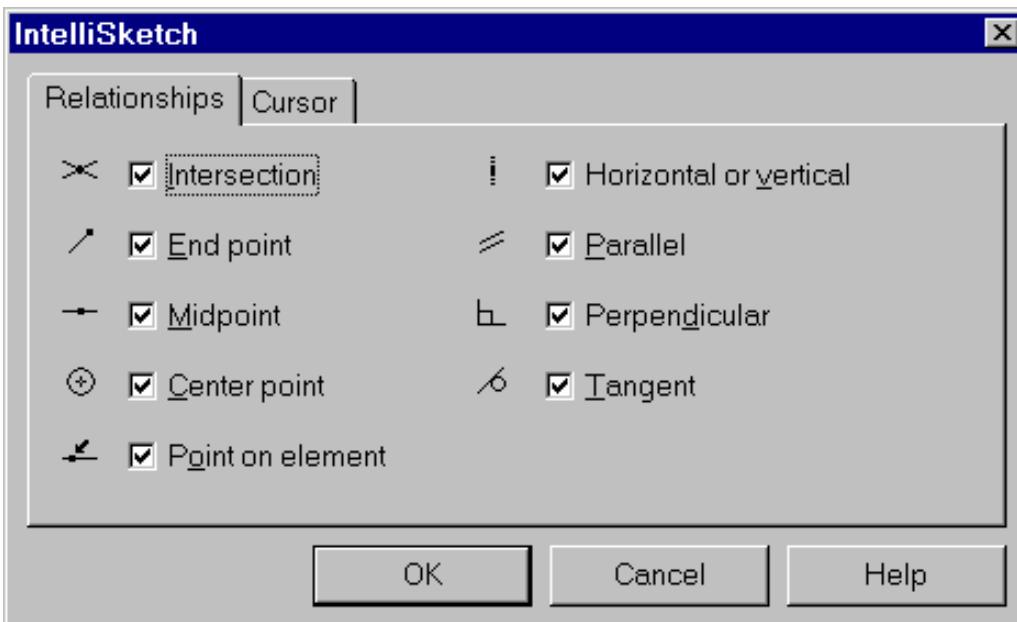
- Tangente
- Fisso

Esempio



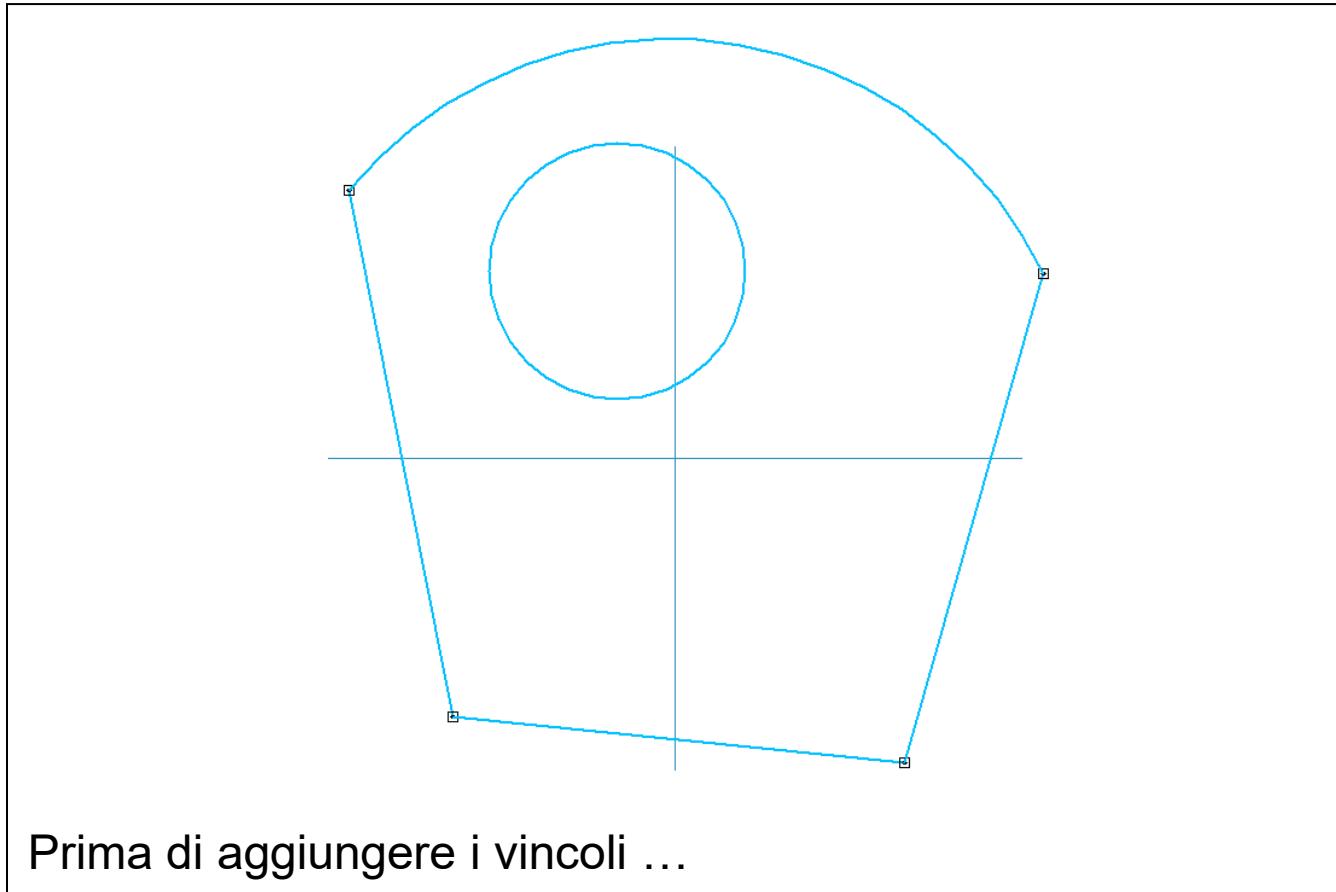
Smart Sketching

- Molti sistemi CAD utilizzano strumenti di “smart sketching”
- Il *Design Intent* viene dedotto e i vincoli vengono aggiunti automaticamente durante lo *sketch*
- Per esempio, due linee che sono quasi perpendicolari vengono trattate come perpendicolari per mezzo dell’aggiunta di un vincolo
- SolidEdge li definisce “*Intellisketch*”



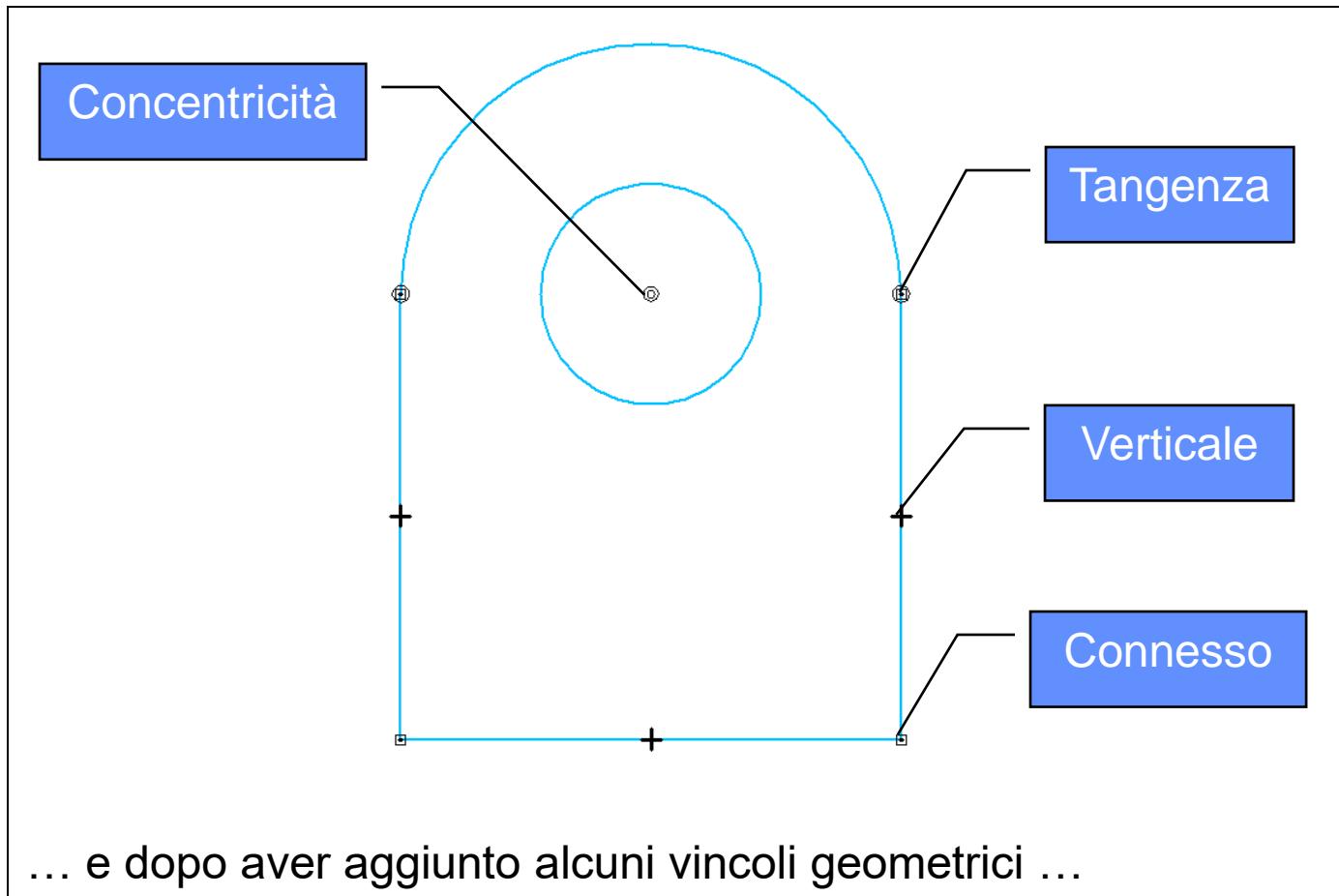
Esempio

Un disegno può essere velocemente abbozzato come in figura



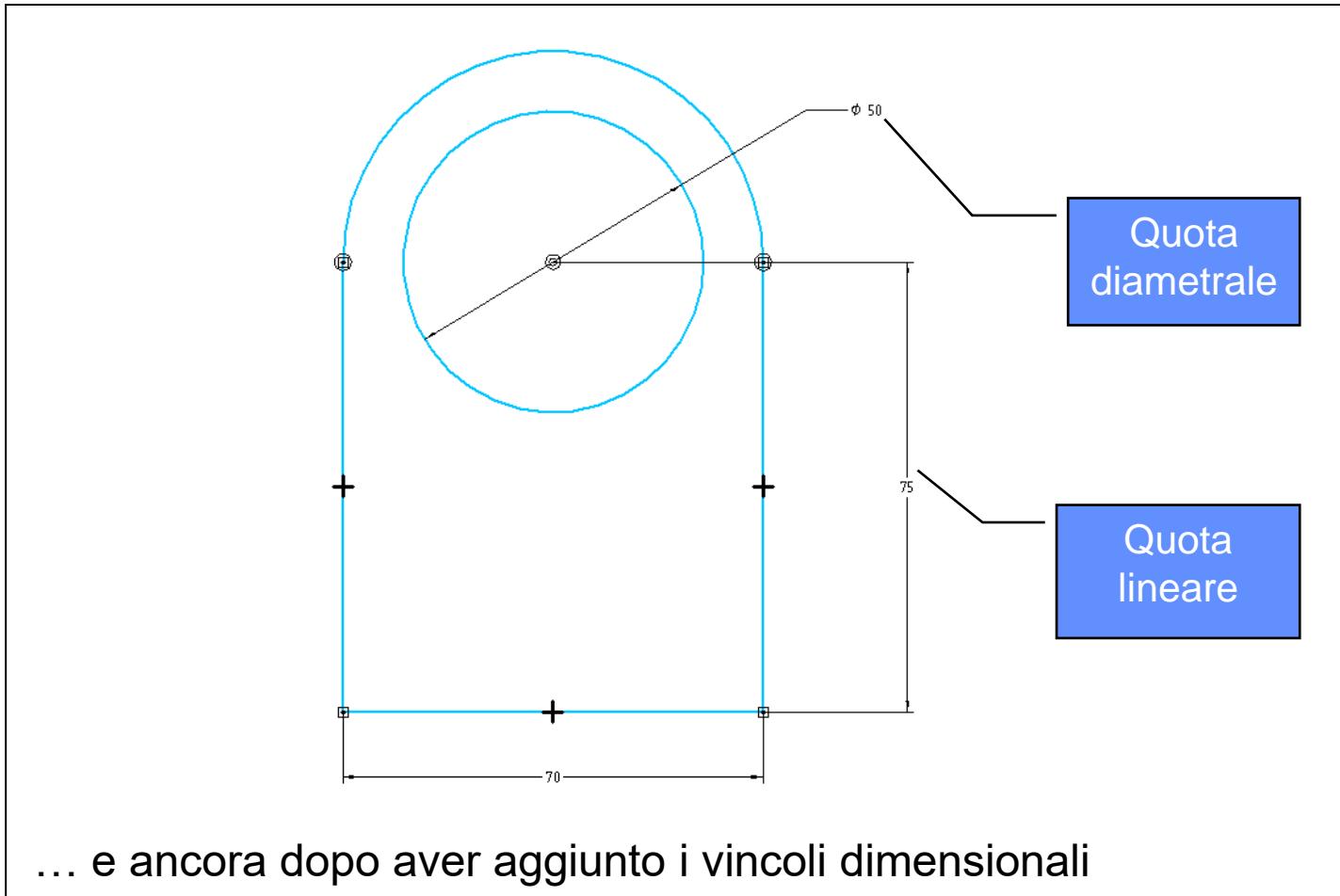
Esempio

Il disegno si aggiorna automaticamente dopo la scelta dei vincoli geometrici



evitare di aggiungere vincoli ridondanti
(quindi evitare sistemi sovravincolati)

Esempio

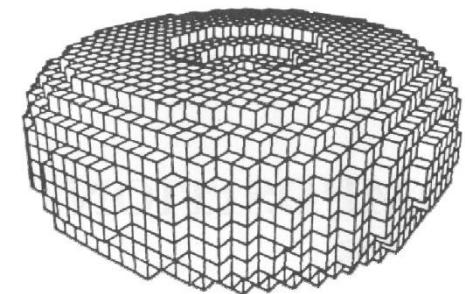


Spatial enumeration

Voxel Models

metodi di enumerazione spaziale
voxel : pixel 3d

- A set of 3D adjacent cells “**approximating by filling**” the space occupied by the solid to be modelled
- Cells are usually cubic, not overlapping, of uniform size (voxel)
- Modeling is done by:
 - Defining a regular grid oriented along the 3 reference axis
 - Setting a TRUE value to all cells containing some material and FALSE to all the others
 - Indexing each cell by coordinates of a predefined vertex.



Spatial enumeration

OCTREE Models

elimino materiale/ discretizzo un oggetto in celle

Based on recursive subdivision in 8 cubic regions

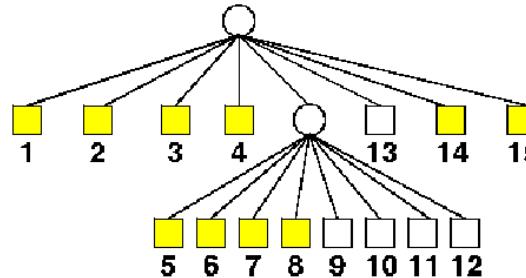
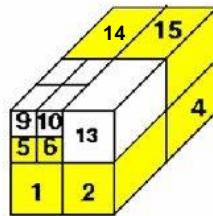
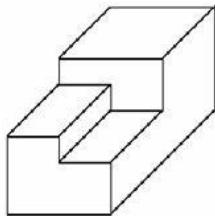
- Optimize memory space
- Improve accuracy

The model is a tree : each node (father) has 8 child

The space is recursively subdivided : at each step 8 child are generated

To any child a code is associated defining his status:

- Fully included into the solid
- Completely outside the solid
- Partially including the solid



Spatial enumeration

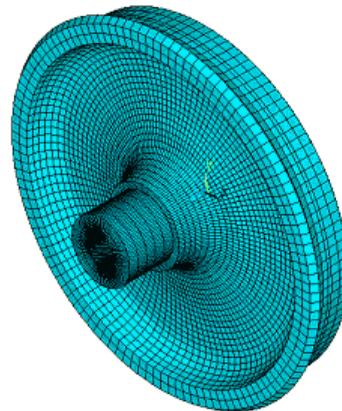
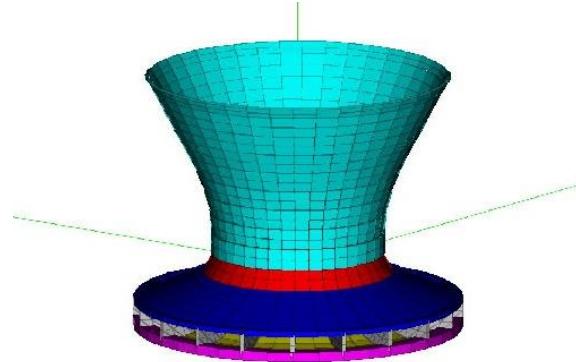
Cellular Models

They decompose space by means of blocks of irregular form (tetrahedra, hexahedron) connected to each other.

Example: finite element models.

The cells are connected to each other at the vertices

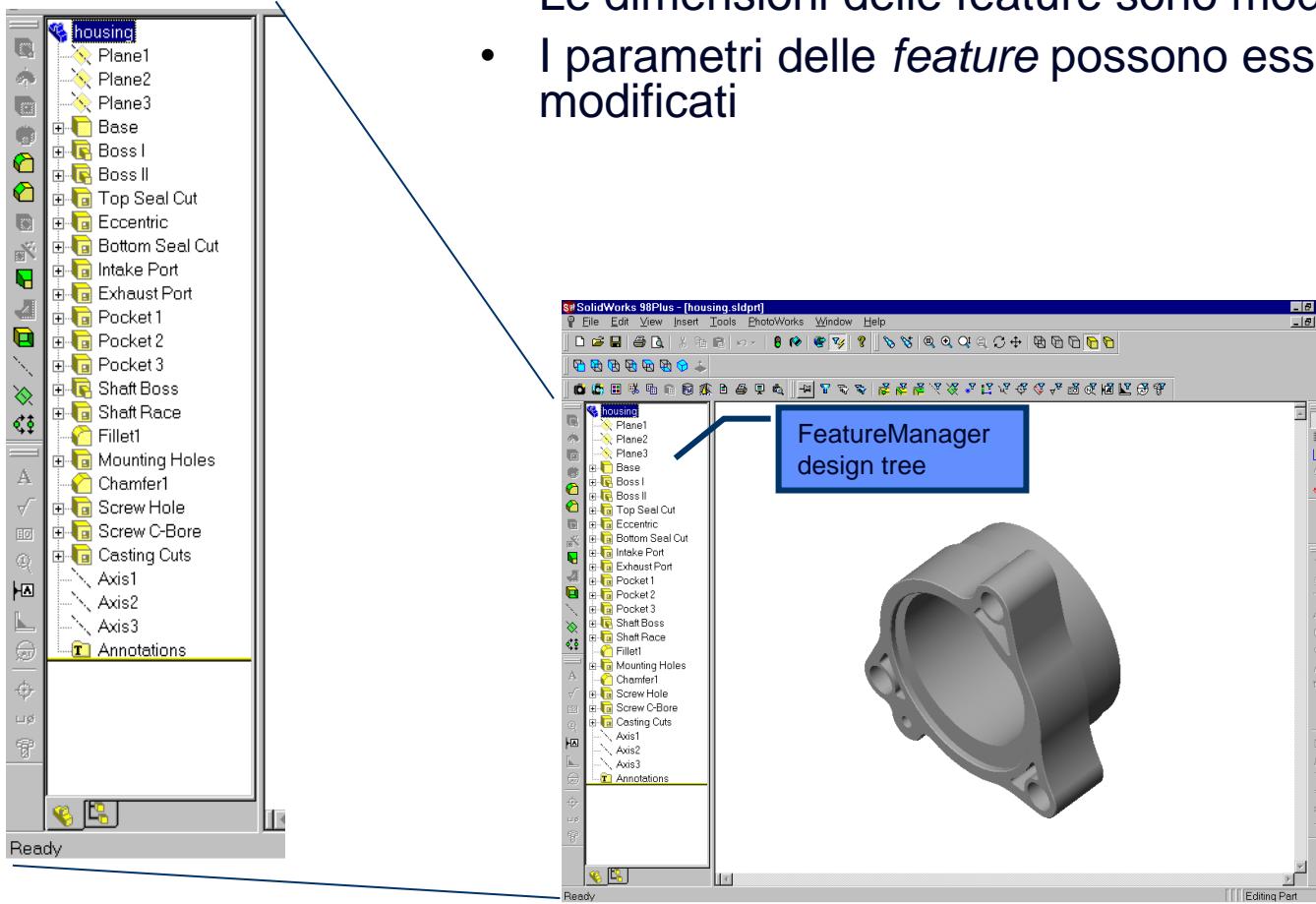
esaedro: sei facce
tetraedro: 4 facce



Albero delle feature

Modifica delle feature

- La parte viene creata ripercorrendo l' *history tree*
- Le *feature* possono essere aggiunte, cancellate, nascoste o ordinate in modo differente
- Le dimensioni delle feature sono modificabili
- I parametri delle *feature* possono essere modificati

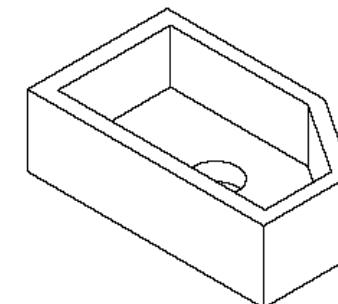
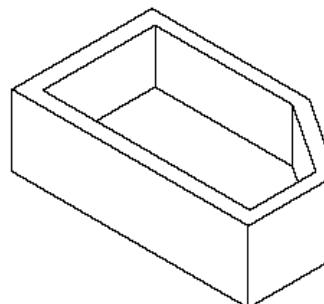
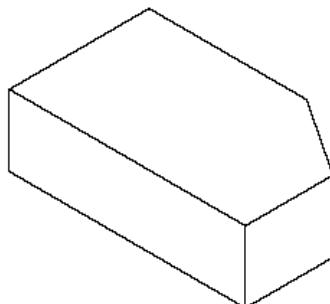


Albero delle
feature in
SolidWorks

Cambiamento dell'ordine delle feature

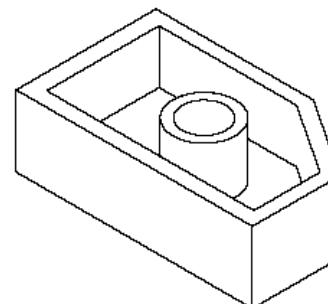
Cambiando l'ordine di creazione delle feature
cambia anche il modello risultante

Blocco
↓
Guscio
↓
Foro



(A)

Blocco
↓
Foro
↓
Guscio



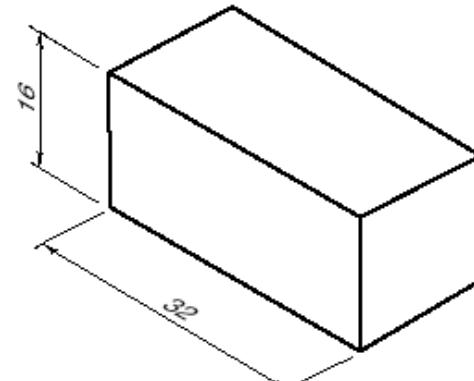
(B)

Esempio

Questa variazione può effettuarsi direttamente
sull'albero delle feature

Modellazione 3D basata su vincoli

Definizione di una parte secondo
il metodo tradizionale

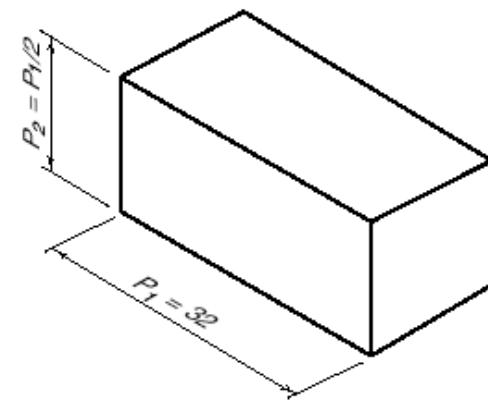


(A)

... e secondo il metodo basato
sui vincoli

Relazione tra P_1 e P_2

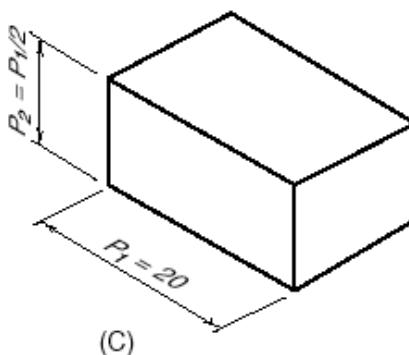
$$\begin{aligned}P_1 &= 32 \\P_2 &= P_1/2 \\P_2 &= 32/2 \\P_2 &= 16\end{aligned}$$



(B)

Dopo aver assegnato i vincoli, una
modifica di un parametro si propagherà a
tutti i parametri collegati nel rispetto dei
vincoli imposti (rigenerazione del modello)

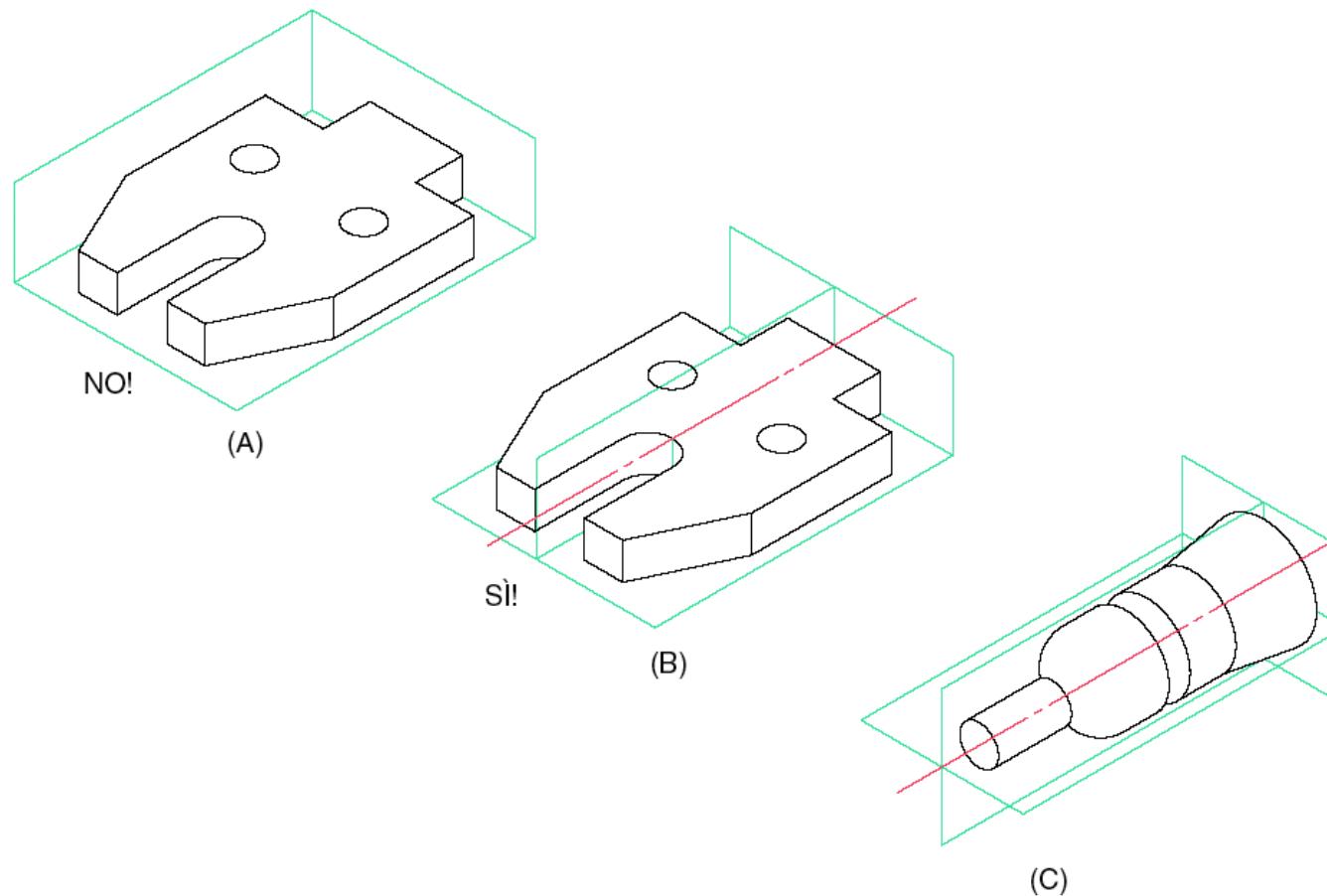
$$\begin{aligned}P_1 &= 20 \\P_2 &= P_1/2 \\P_2 &= 20/2 \\P_2 &= 10\end{aligned}$$



(C)

Utilizzo della simmetria nella definizione di feature

Laddove è riscontrabile una simmetria nell'oggetto, è consigliabile sfruttarla utilizzando piani o assi di riferimento (*datum*)

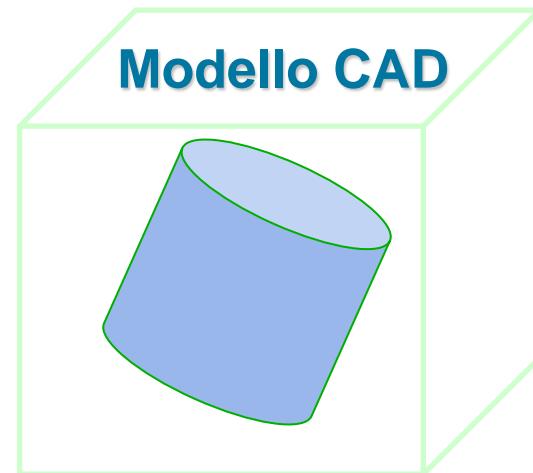


Vincoli
dimensionali
e geometrici

**Definizione
del profilo**

Approccio parametrico

- $N_{\text{incognite}} = N_{\text{equazioni}}$
- Soluzione unica
- Metodo di risoluzione delle equazioni sequenziale



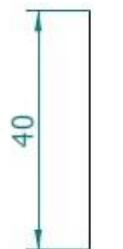
Approccio variazionale

- $N_{\text{incognite}} > N_{\text{equazioni}}$
- Infinite soluzioni
- Metodo di risoluzione delle equazioni simultaneo

Approccio parametrico

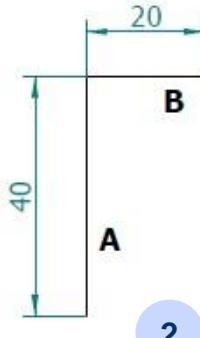
definisco la geometria e i vincoli dimensionali contemporaneamente

Non va bene in una fase di progettazione concettuale

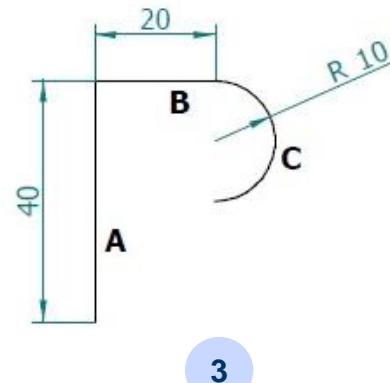


1

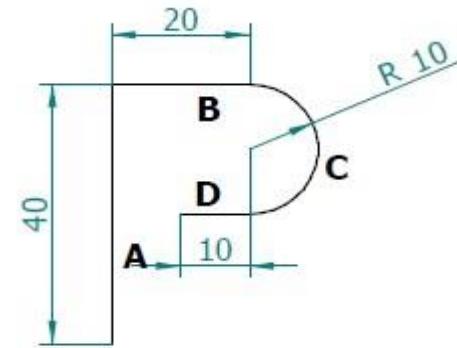
- Costruzione sequenziale di entità geometriche, parametri e relazioni



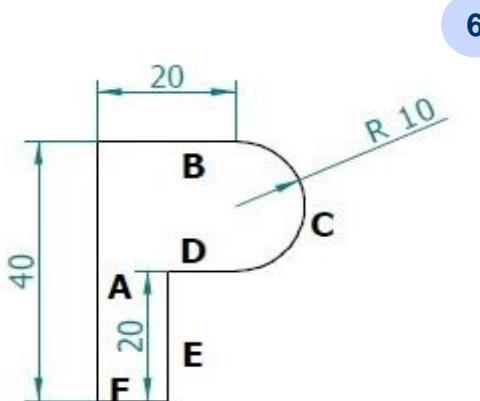
2



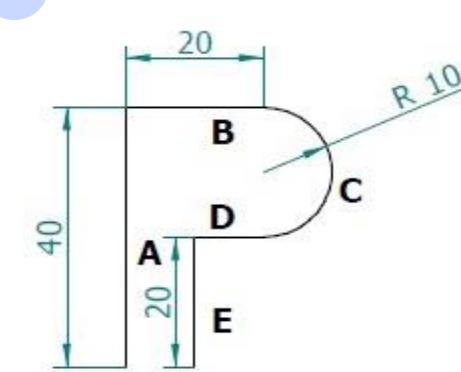
3



4



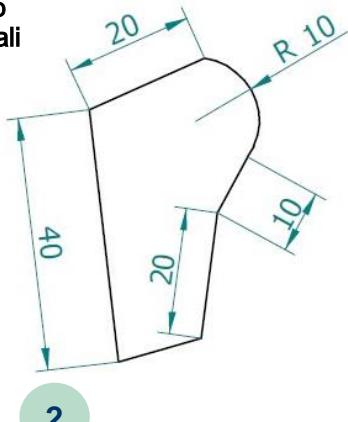
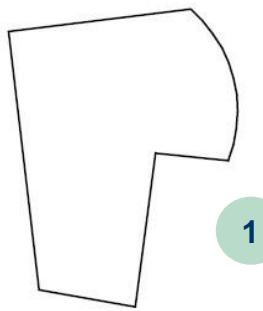
6



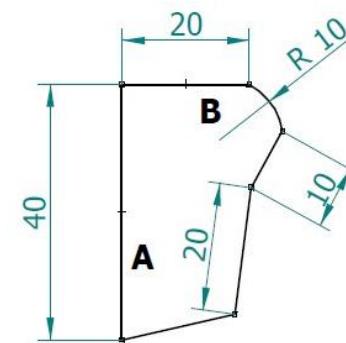
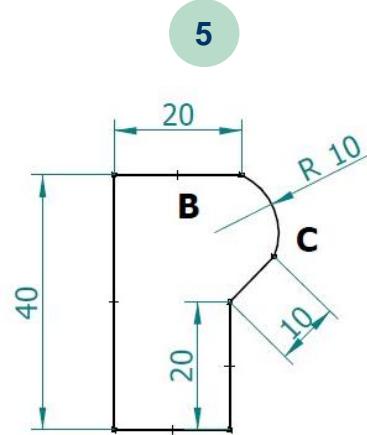
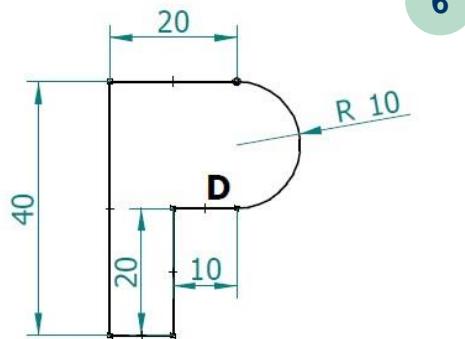
5

Approccio variazionale

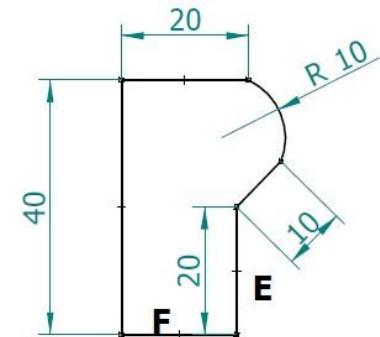
definisco prima la geometria, poi posso inserire vincoli geometrici e dimensionali



- Costruzione iniziale di una forma libera ed aggiunta di vincoli geometrici e dimensionali



inserire sempre prima i vincoli geometrici e poi quelli dimensionali

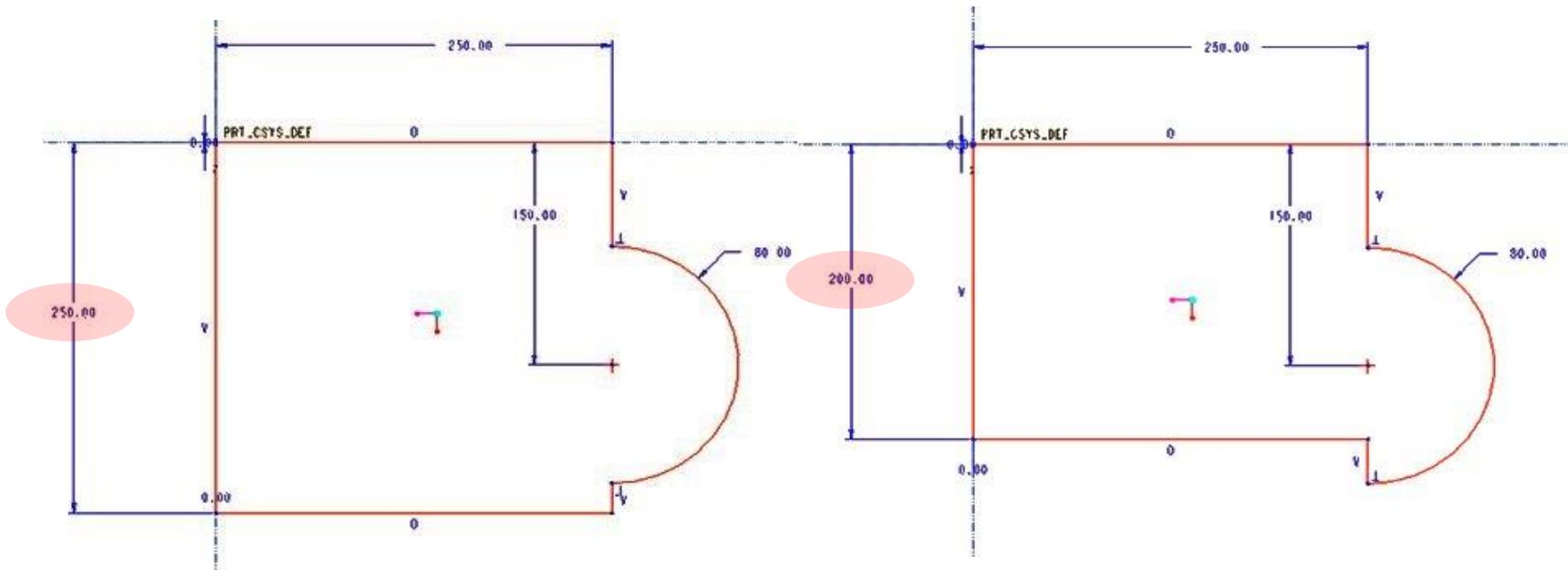


Implicazioni dell'approccio variazionale



Schizzo
sotto-vincolato

Inconvenienti
nell' aggiornamento dei parametri



Anche uno schizzo completamente-vincolato può non conservare, durante la modifica, l'intento del progettista

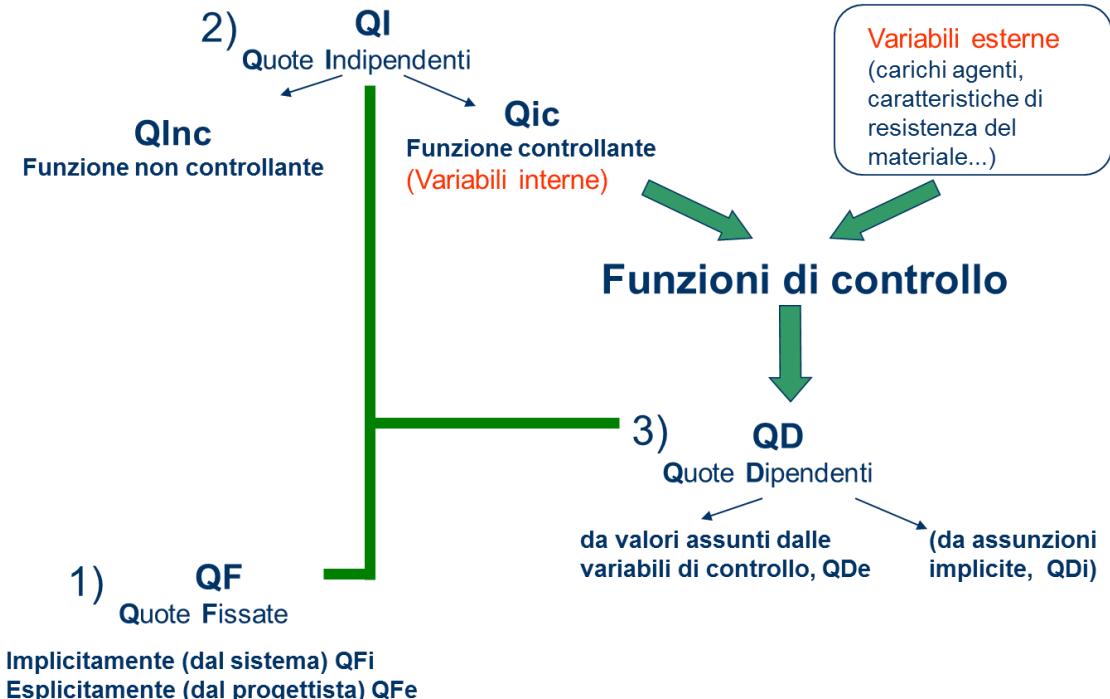


È necessario definire un sistema di controllo parametrico-variazionale
I vincoli dimensionali non hanno tenuto conto di uno dei requisiti (in questo caso le quote non sono stati messe in relazione tra loro)

Il sistema di controllo parametrico-variazionale di un modello

Le **quote "fissate"** per scelta morfologico-geometrica di progetto; sono le quote che vincolano l'oggetto modellato a mantenere una forma geometrica definita. Tra esse si possono distinguere quelle fissate

- **"implicitamente"**, (assunzioni fatte dal modellatore in fase di sketch) - per esempio angoli di 90° tra elementi assunti tra loro perpendicolari;
- **"esplicitamente"**, cioè quelle fissate direttamente dal progettista (per esempio le quote degli angoli interni di un triangolo equilatero).



Le **quote rese "dipendenti"**. Tra esse si possono distinguere quelle:

- **"assunte implicitamente"**; (assunzioni fatte dal modellatore in fase di sketch) - per esempio , quote di elementi assunti dal modellatore di stessa lunghezza rispetto ad un elemento quotato dal progettista;
- **"controllate"**;

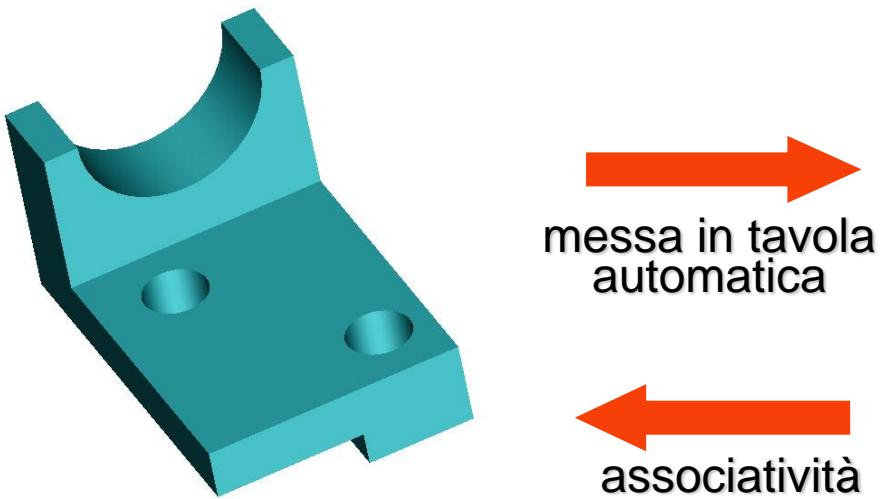
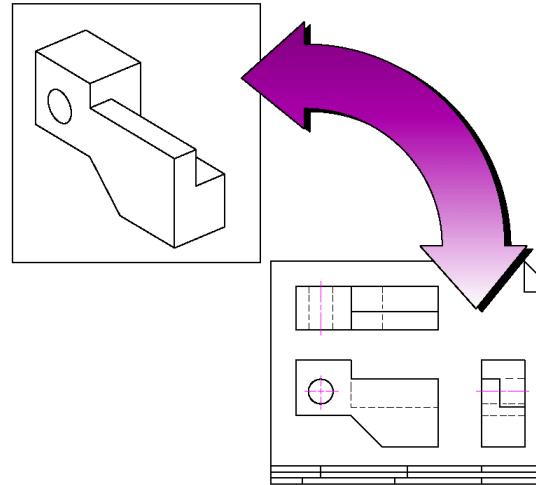
Le **quote rimaste "indipendenti"**. Tra esse si possono distinguere quelle:

- **"controllanti"** altre quote; sono quote il cui valore determina quello di quote "dipendenti controllate". Il controllo può essere esercitato mediante funzioni di controllo nelle quali le quote controllanti sono assunte a variabili di controllo di tipo "interno".
- **"non controllanti"** altre quote; sono quote "isolate" nel senso che l'eventuale modifica del valore non comporta variazioni in nessuna delle altre quote del modello.

Relazione (bi-direzionale) tra 3D e 2D

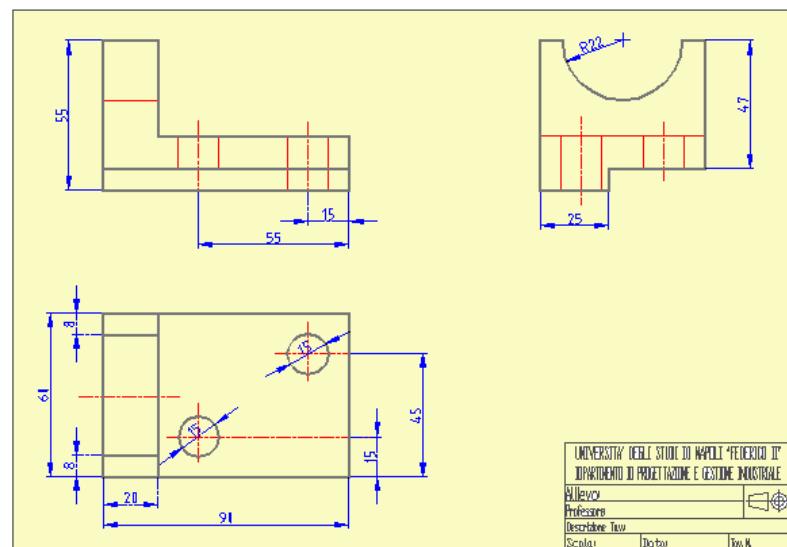
Concetto di Associatività tra modello 3D e tavola 2D

C'è una relazione di associatività tra i vari ambienti: una volta modificato un elemento in un ambiente, verranno aggiornati tutti gli altri.



Prototipo numerico

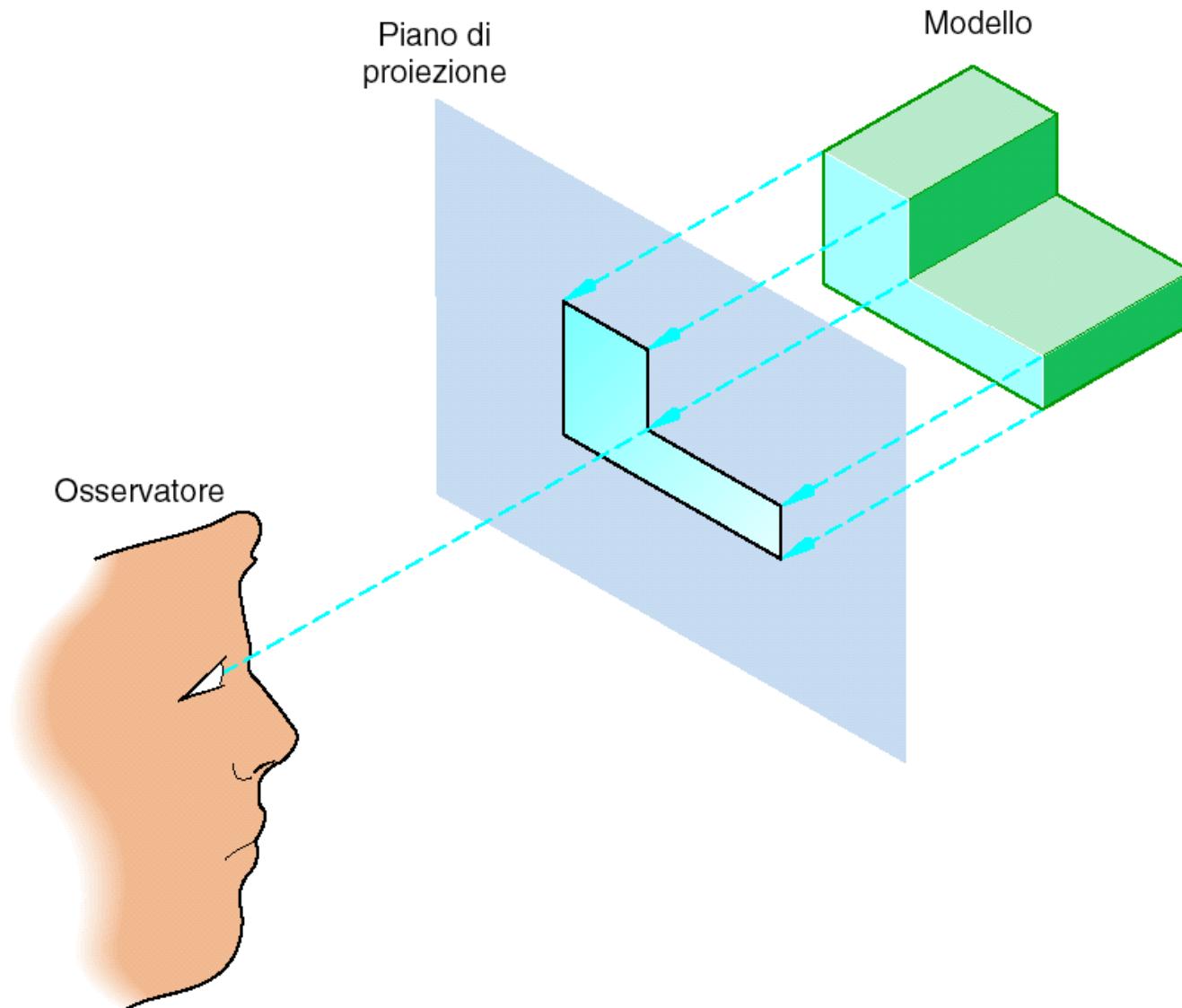
Vedi esempio



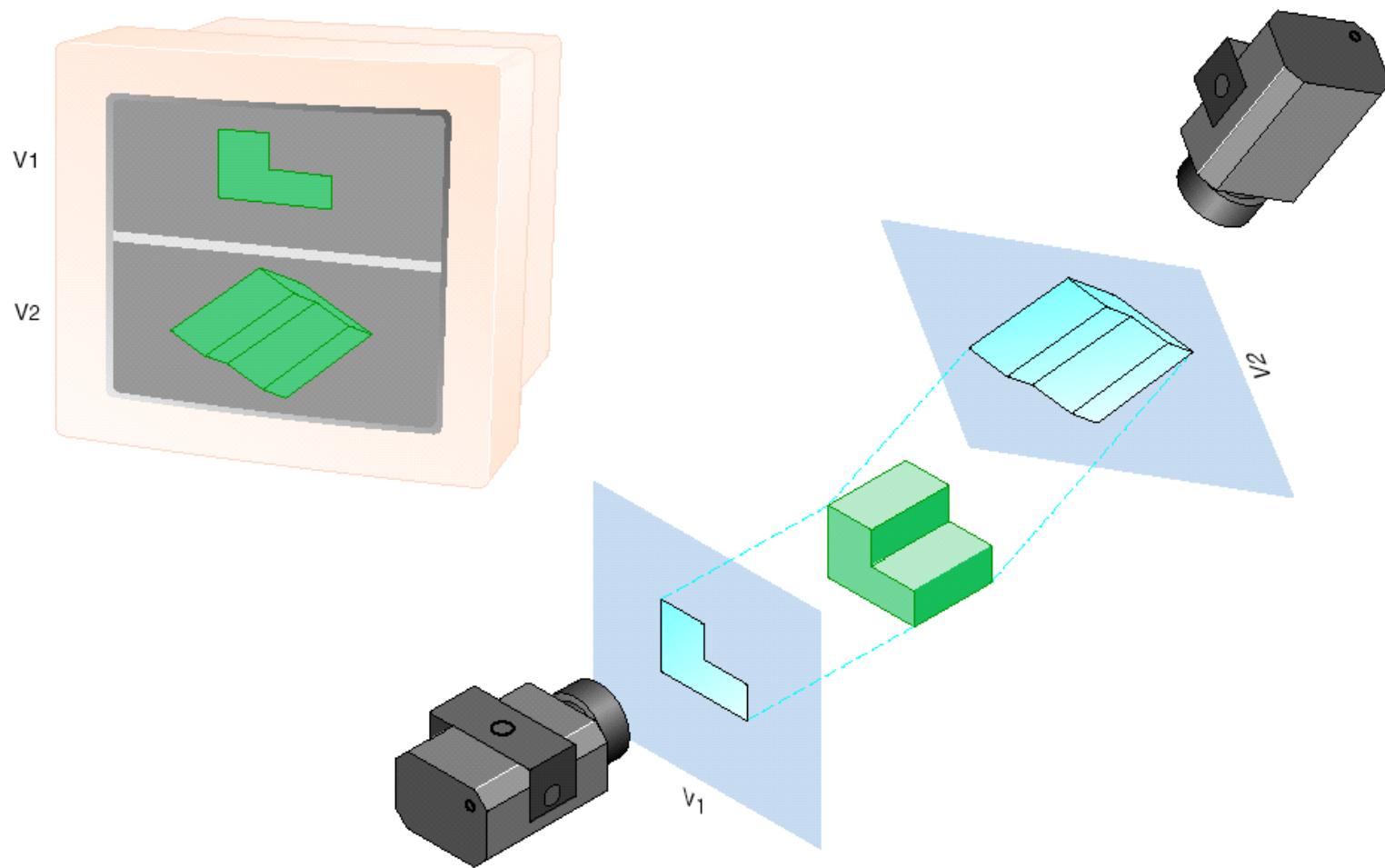
Documento tecnico tradizionale

Visualizzazione del modello sullo schermo

Elementi di un sistema di proiezione

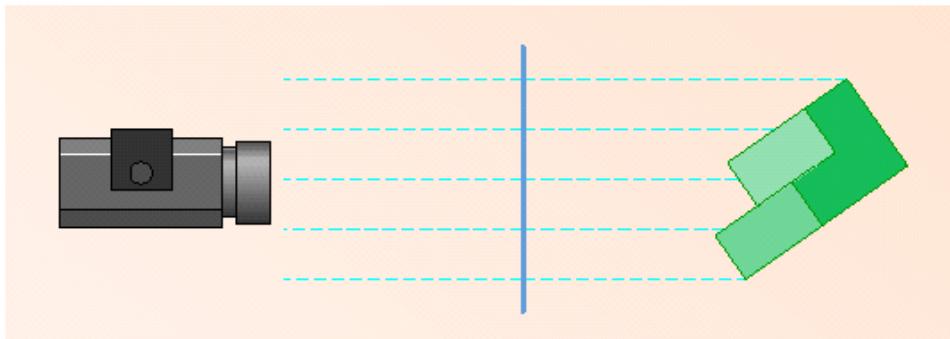


Visualizzazione del modello sullo schermo

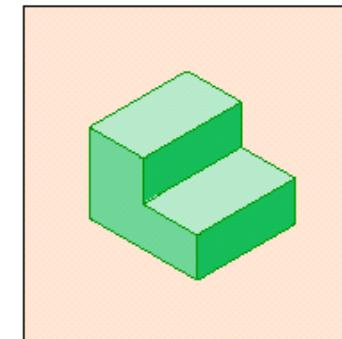


Proiezioni parallele e prospettiche

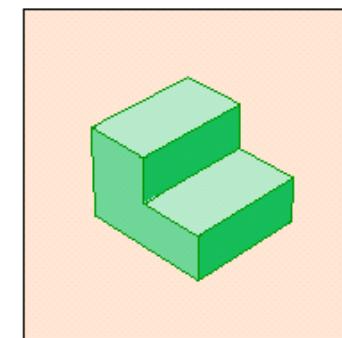
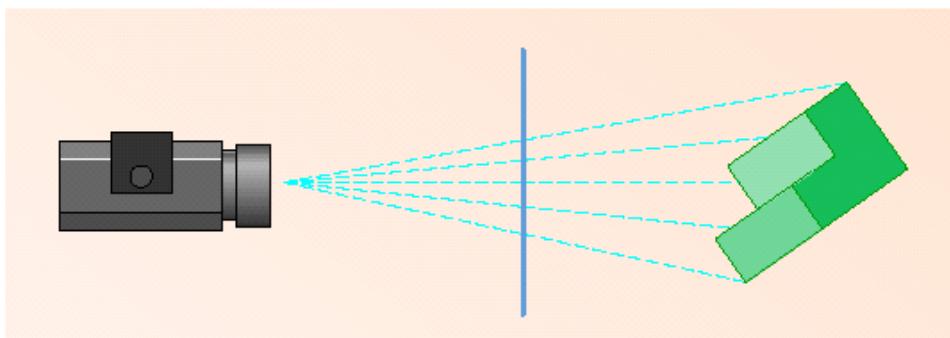
Vista telecamera



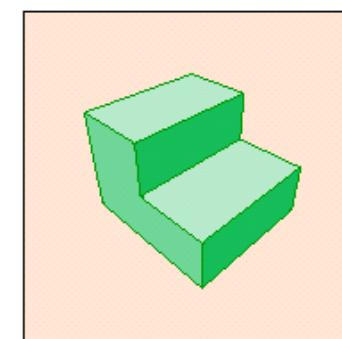
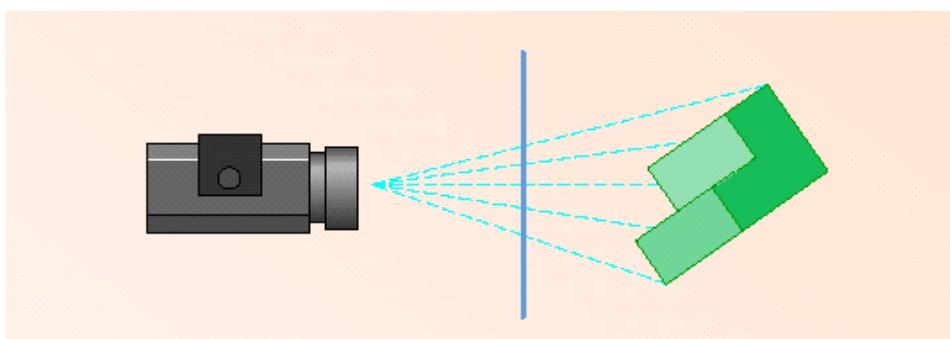
Ciò che appare



Proiezione parallela

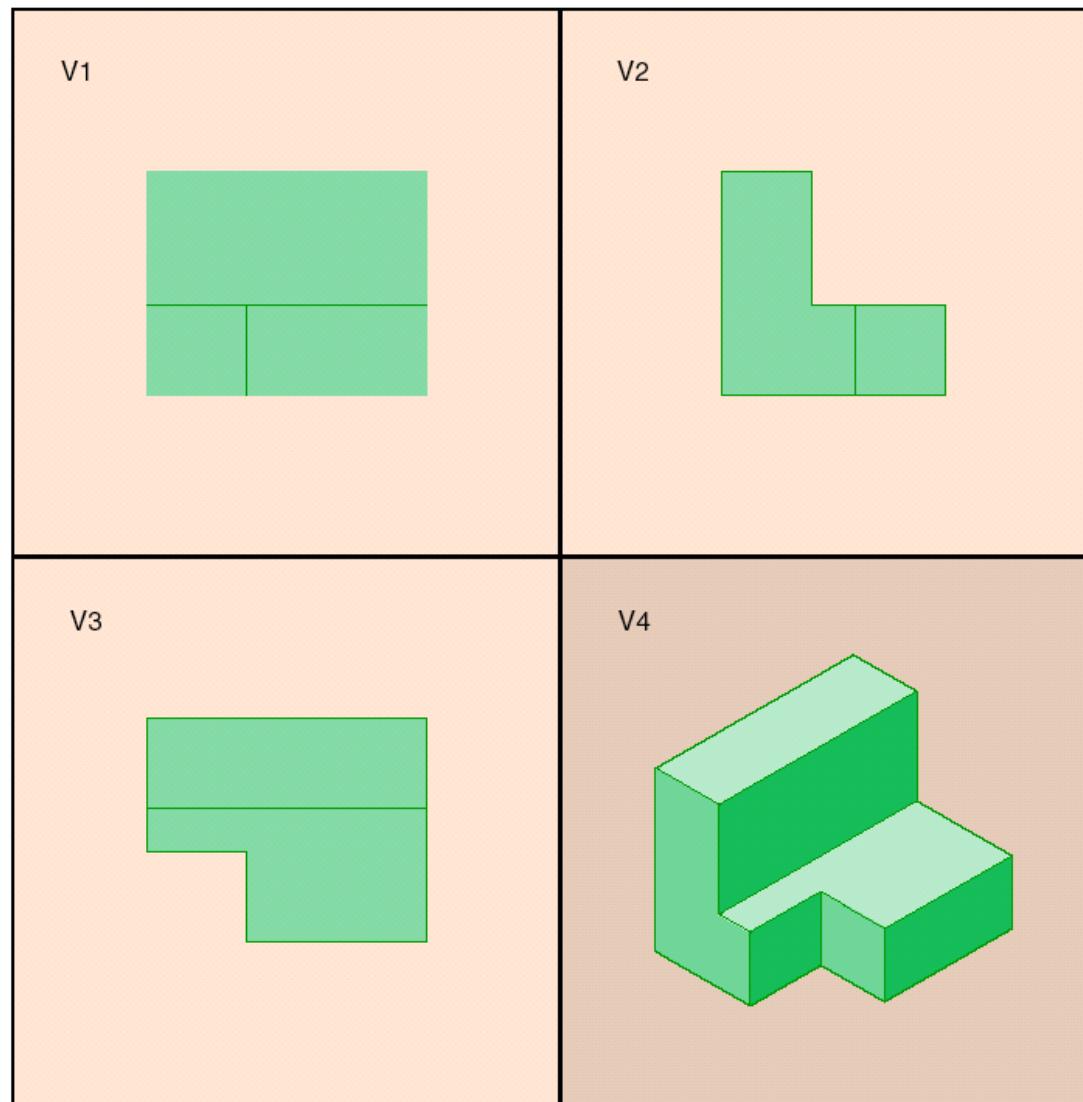


Proiezione prospettica



Proiezione prospettica

Disposizione standard per un sistema di modellazione



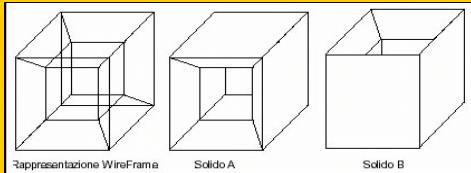
Alcune caratteristiche degli attuali sistemi CAD

Computer Aided Drafting

Computer Aided Design

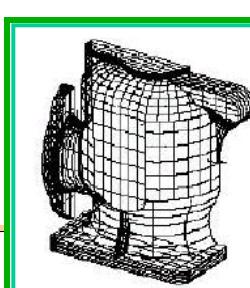
Tecniche di modellazione

Wireframe



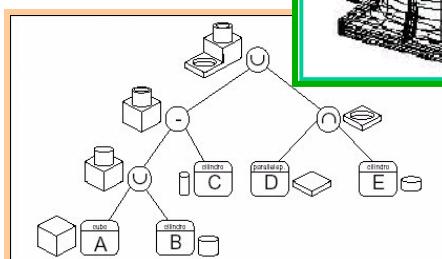
Rappresentazione WireFrame Solido A Solido B

Superfici

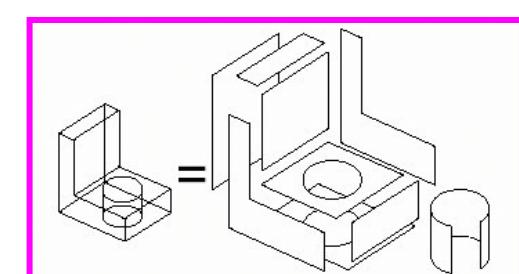


Solidi

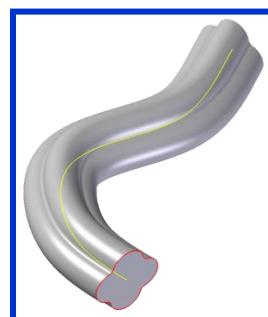
CSG



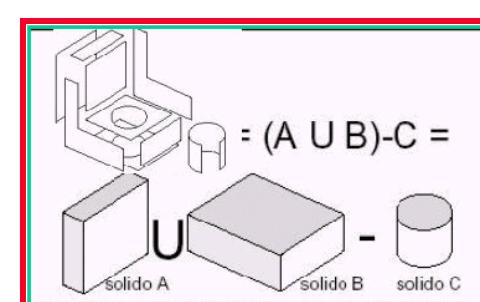
B-Rep



Sweep



Ibridi



Alcune caratteristiche degli attuali sistemi CAD

Tipologie

disegno linee senza mettere in relazione a dei parametri

Espliciti

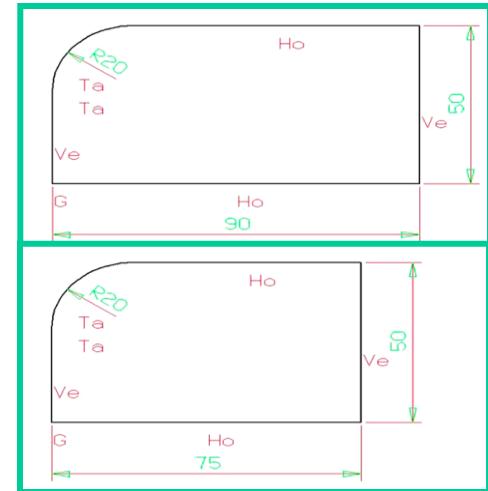
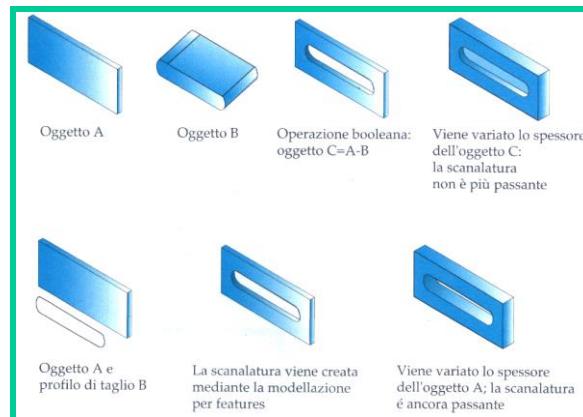
Variable-driven

Feature-based

Parametrico

Variazionale

Param.\Variaz.



Motore di modellazione

Licenziato

ACIS

Parasolid

Open Cascade

SMlib

Proprietario

CAD application	Kernel		
	ACIS	Parasolid	Proprietary
AutoCAD	•		
CADKEY	•		
CATIA			•
I-DEAS			•
IronCAD	•		
IX Design	•		
Mechanical Desktop	•		
MicroStation		•	
Pro/ENGINEER			•
SolidEdge		•	
SolidWorks		•	
ThinkDesign			•
Unigraphics		•	
VX CAD/CAM		•	

Approfondimenti

Anand Vera B., “Computer Graphics and Geometric Modelling for Engineers”, John Wiley and Sons, ISBN 0-471-51417-9, Cap. 12 pagg. 327-348.

Bertoline G., Wiebe E., Fondamenti di comunicazione grafica, McGraw-Hill, ISBN 88-386-6096-4, Cap. 5, Cap 3 pagg.138-141.

Chirone E., Tornincasa S., “Disegno Tecnico Industriale”, Vol.II, Ed. II Capitello, 2009, Cap10 par. 1-3 pagg. 447-455.

Lee K.W., “Principles of CAD/CAE/CAM Systems”, Addison-Wesley Ed., 1999.