



Progettazione Meccanica CAD/CAE Integrata

A.A. 2025/2026

Computer-Aided Design *Introduzione alla modellazione*

Ph.D. Eng. Domenico Marzullo



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE**

**Dipartimento di Ingegneria e Architettura
Università degli Studi di Trieste**



Modellazione Feature-Based



- La maggior parte dei sistemi CAD 3D sono *feature-based*
- I modellatori *feature-based* utilizzano in modo combinato alcuni aspetti del CSG e del B-rep



Modellazione Feature-Based

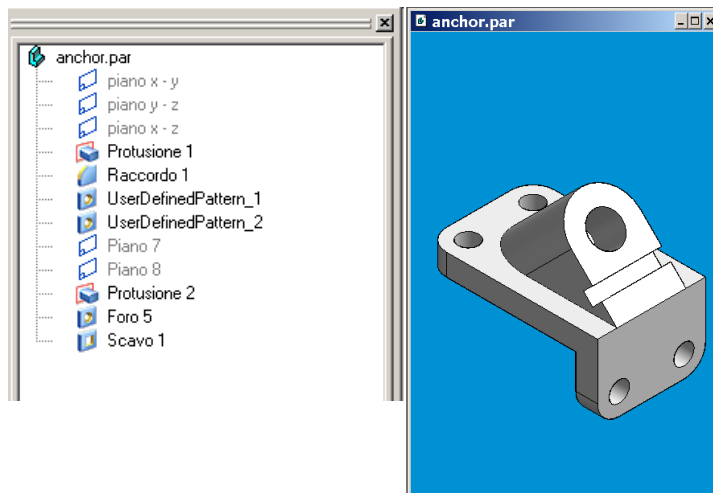


- Si parte da un semplice modello di base e si aggiungono *features*
- Le *features* rappresentano le “operazioni” di fabbricazione
 - fori, nervature, raccordi, smussi, scavi, ecc.
- Il materiale può essere aggiunto o sottratto, come avviene nel CSG
- Le *features* non sono limitate alle sole semplici primitive ma possono essere generate da operazioni di estrusione, scorrimento, rivoluzione, ecc.
- Viene memorizzata la storia della modellazione sotto forma di albero delle feature alla stregua dell'albero booleano nel CSG

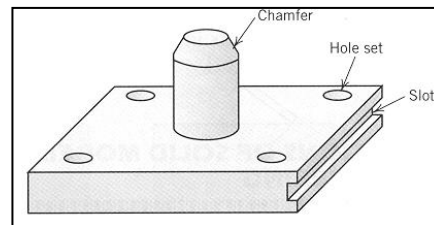
Processo di Modellazione Feature-based

- Creazione di una feature di base
- Aggiunta di feature fino a pervenire alla forma finale

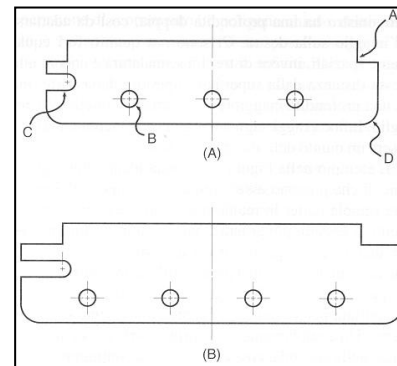
Forte legame tra CAD e CAM
Le caratteristiche di fabbricazione (*feature*)
sono “incorporate” nel modellatore CAD



Le *feature* sono organizzate in un albero che rappresenta la storia della modellazione



Controllo delle *feature* per mezzo di parametri: Approccio parametrico

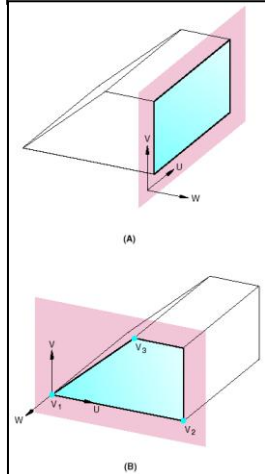
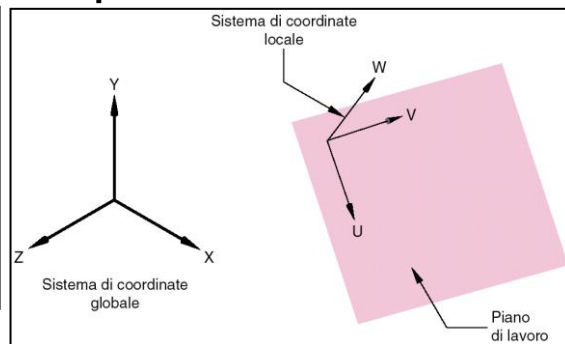
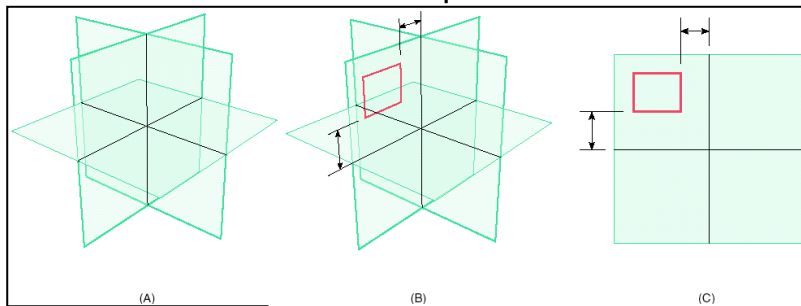


- La geometria è definita creando prima un profilo 2D su un piano di sketch che viene poi “esteso” in 3D
- Questa “estensione” in 3D può avvenire per mezzo di:
 - Estrusione (protrusione)
 - Rivoluzione
 - *Sweeping* (scorrimento)
 - *Lofting (blending)* (passaggio attraverso più profili)
- Queste operazioni possono aggiungere o sottrarre materiale

Una **feature** è un'operazione che concorre a costituire una parte (non necessariamente solida)

- Feature **basate su schizzo** (estrusione, rivoluzione, ecc.)
- Feature **di dettagliatura** (raccordo, smusso, sformo, ecc.)
- Feature **basate su superfici** (taglio, unione, estrazione, ecc.)
- Feature **di trasformazione** (simmetrie, matrici, ecc.)
- Feature **booleane** (unione, intersezione, ecc.)

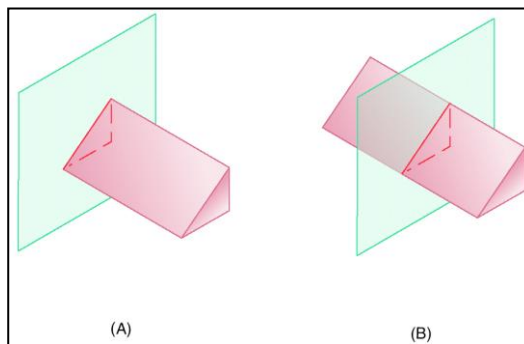
Necessità di definire nello spazio un piano
nel quale tracciare il contorno del **profilo**



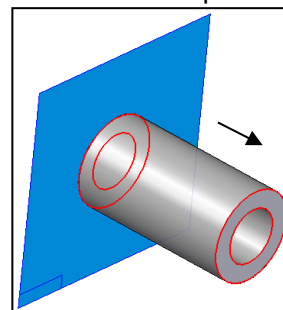
Scelta del piano di sketch:

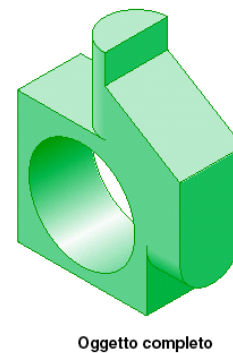
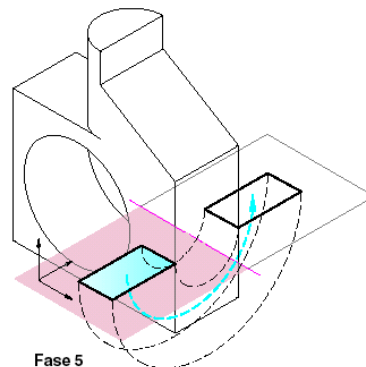
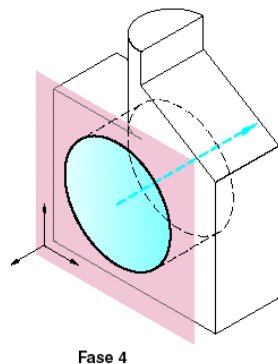
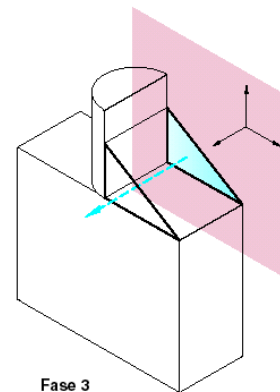
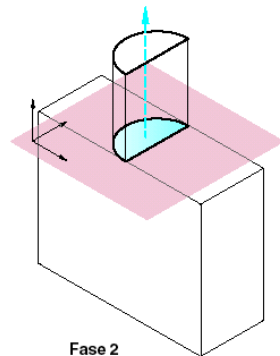
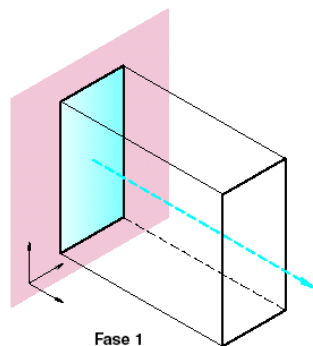
- su faccia piana
- per 3 punti
- normale ad una curva o spigolo
- offset
- tangente
- angolato
- ...

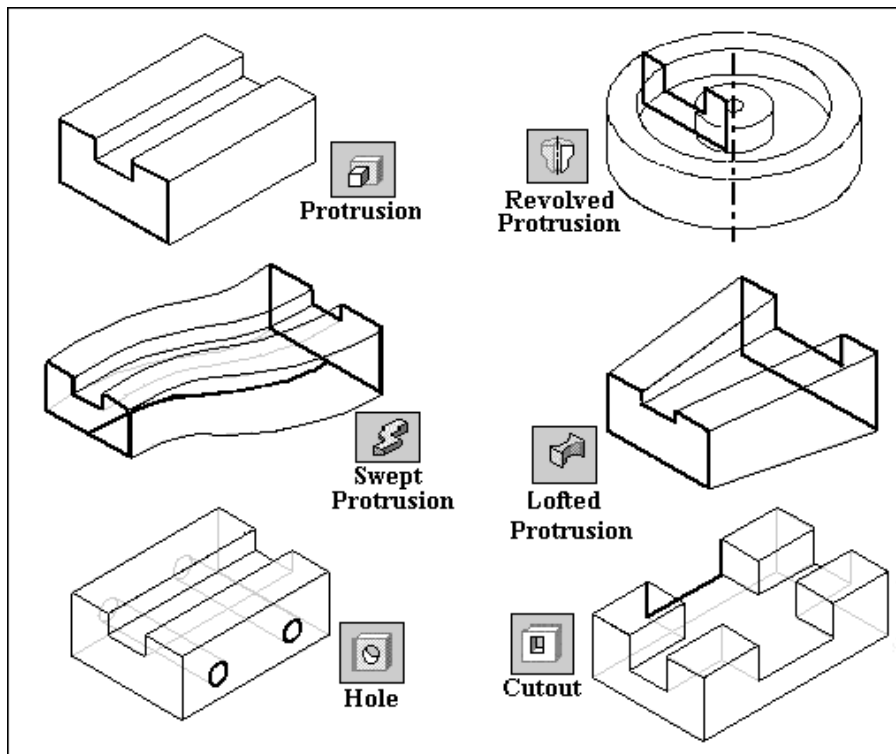
Estrusione unidirezionale e bidirezionale



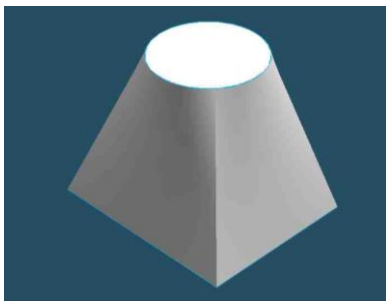
Profilo multiplo



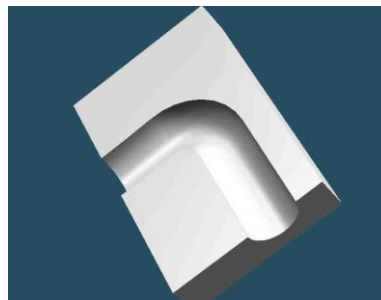




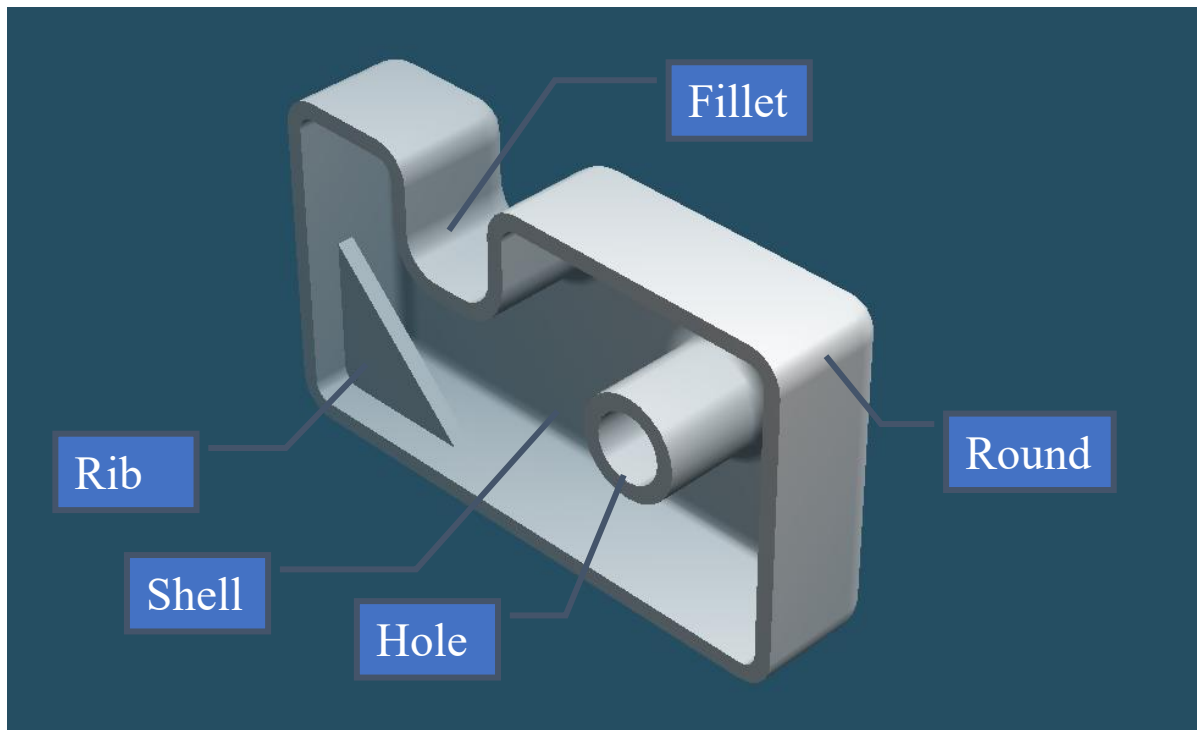
Feature Loft



Taglio Sweep



- Raccordi, smussi
- Gusci (svuotamento)
- Fori
- Nervature



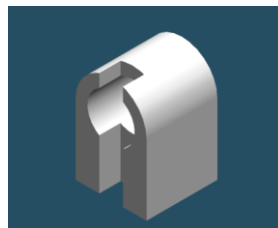
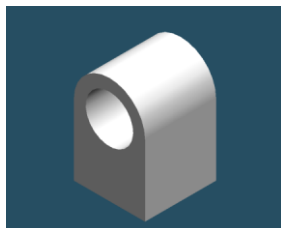


- Ci sono di solito molti modi di modellare uno stesso oggetto
- Un buon approccio richiede pochi step ed è facile da modificare se necessario
- Pensa a quali step utilizzare nella modellazione prima di iniziare!

Un primo
Metodo



Un secondo
Metodo

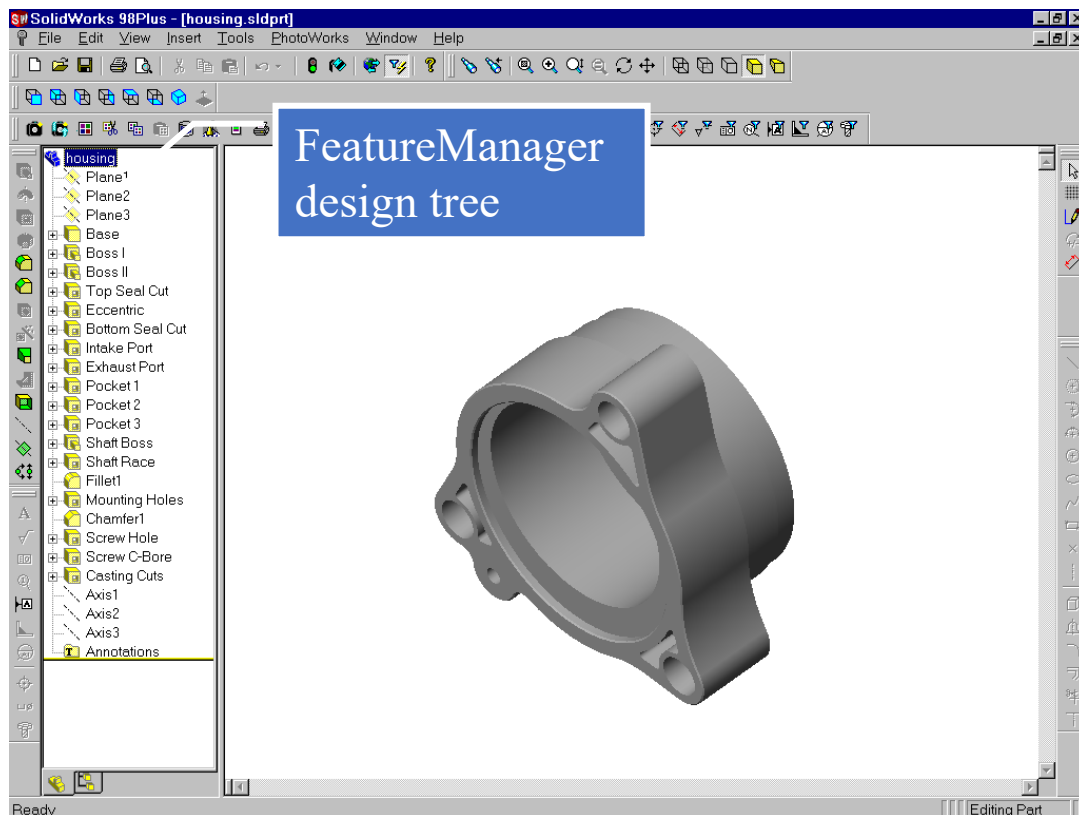


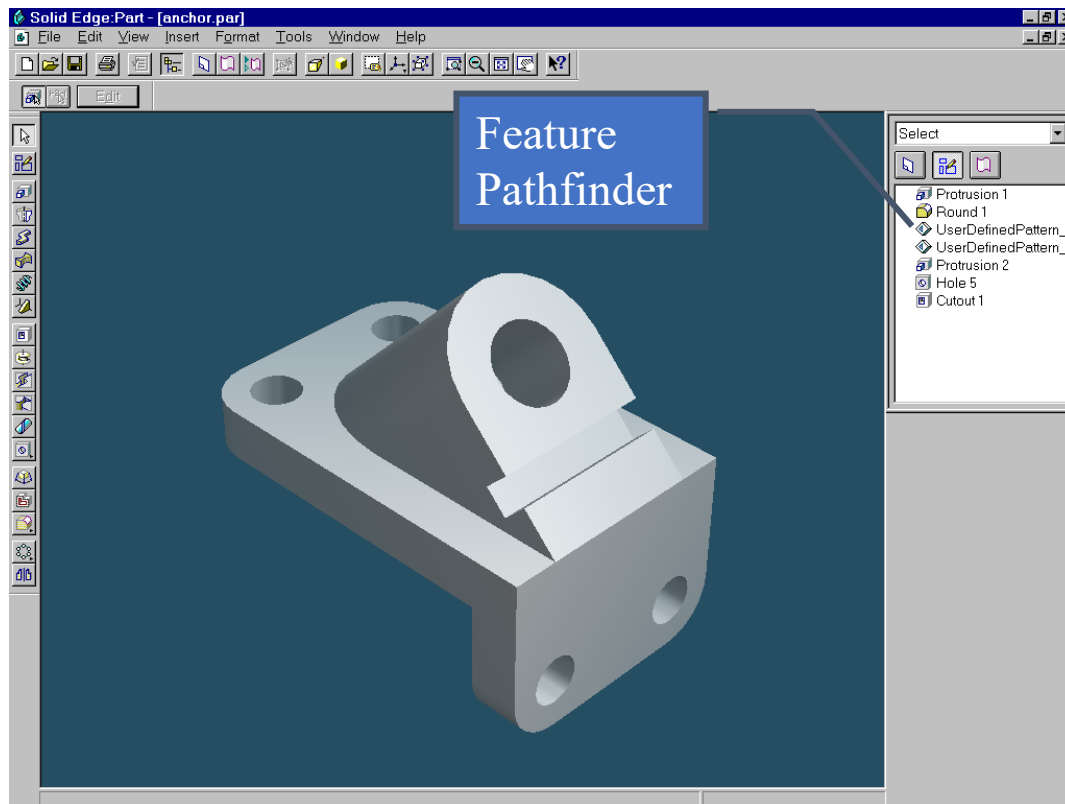


Albero delle feature

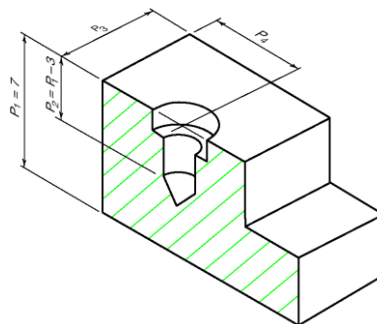
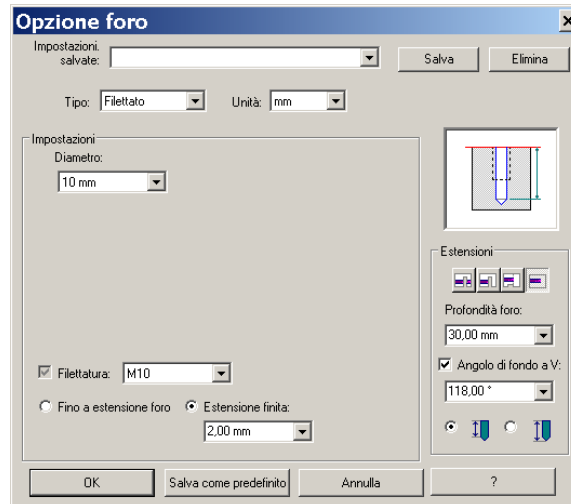


- Quasi tutti i modellatori *feature-based* mostrano graficamente le feature e l'albero di costruzione
- Questa finestra di visualizzazione ha differenti nomi a seconda del software

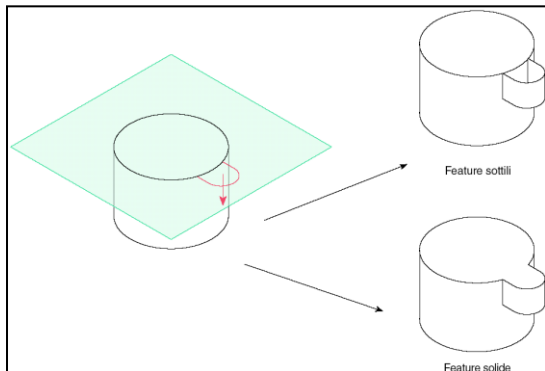




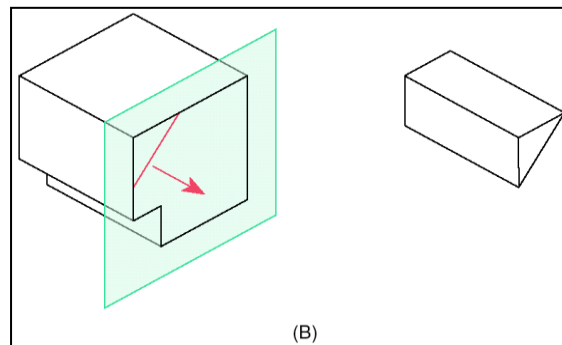
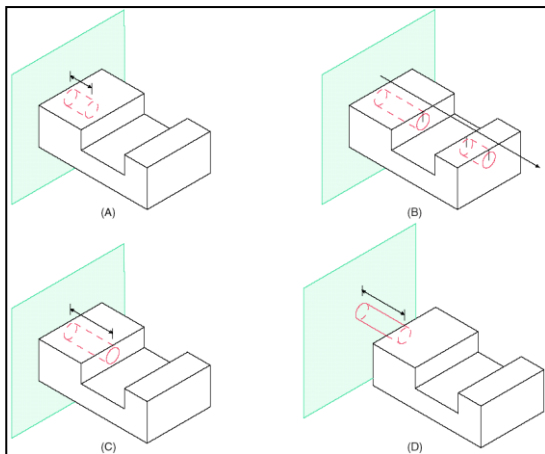
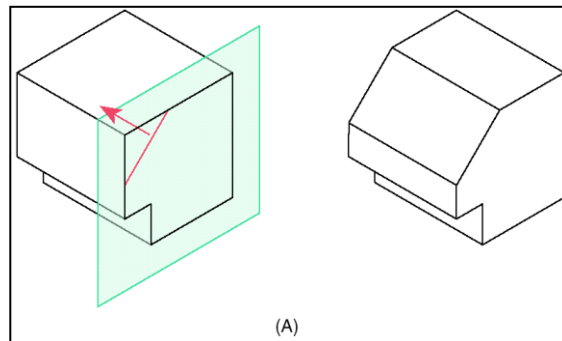
- La parte viene creata ripercorrendo l'*history tree*
- Le *feature* possono essere aggiunte, cancellate, nascoste o ordinate in modo differente
- Le dimensioni delle feature sono modificabili
- I parametri delle *feature* possono essere modificate



Sketch di un profilo



Il profilo può essere vincolato alla geometria esistente e può quindi anche essere non chiuso

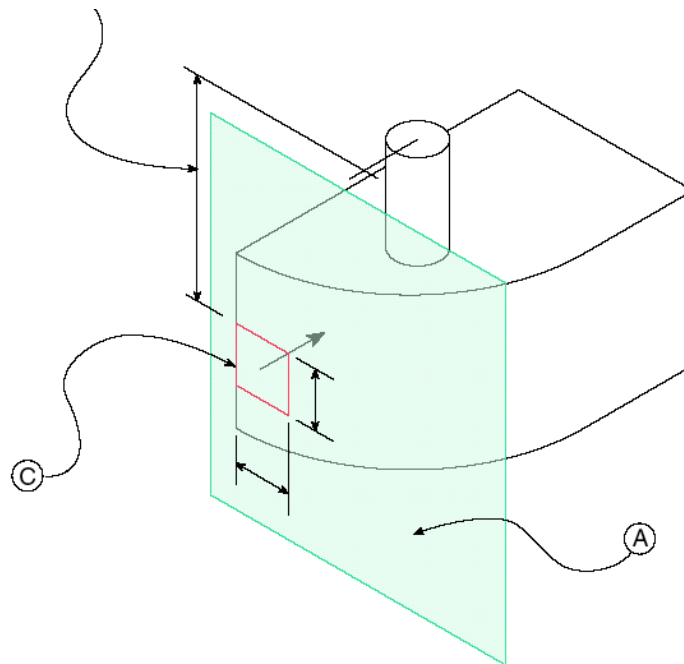


Vedi esempi di vincoli 2D in un profilo

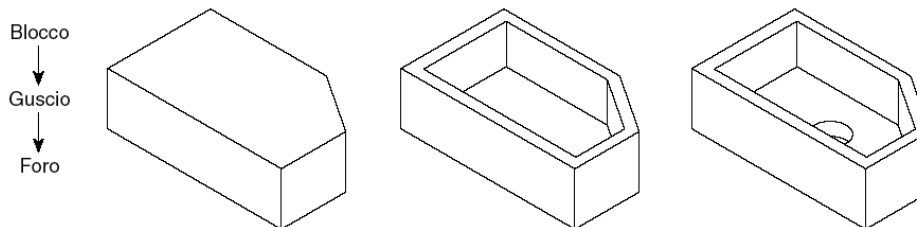
**Il legame “parent-child”
crea una stretta
dipendenza di una
feature (*child*) a quelle
(*parent*) con le quali
essa è stata
geometricamente
vincolata**

Genitori della nuova feature:

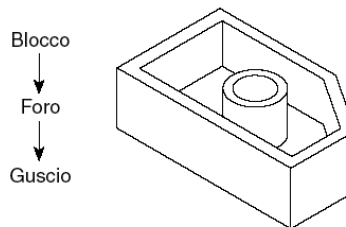
- A) Il piano di bozza
- B) Vincolo dimensionale di posizione a una feature esistente
- C) Vincolo di sovrapposizione a una feature esistente



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



(A)

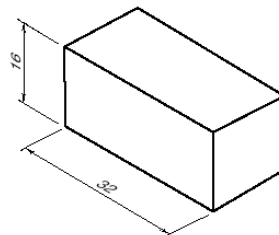


(B)

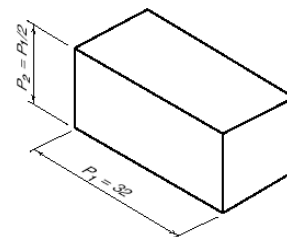
***Questa variazione può effettuarsi direttamente
sull'albero delle feature***

**Definizione di una parte secondo il
metodo tradizionale e secondo il
metodo basato sui vincoli**

Relazione tra P1 e P2 →

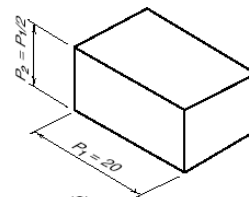


(A)



(B)

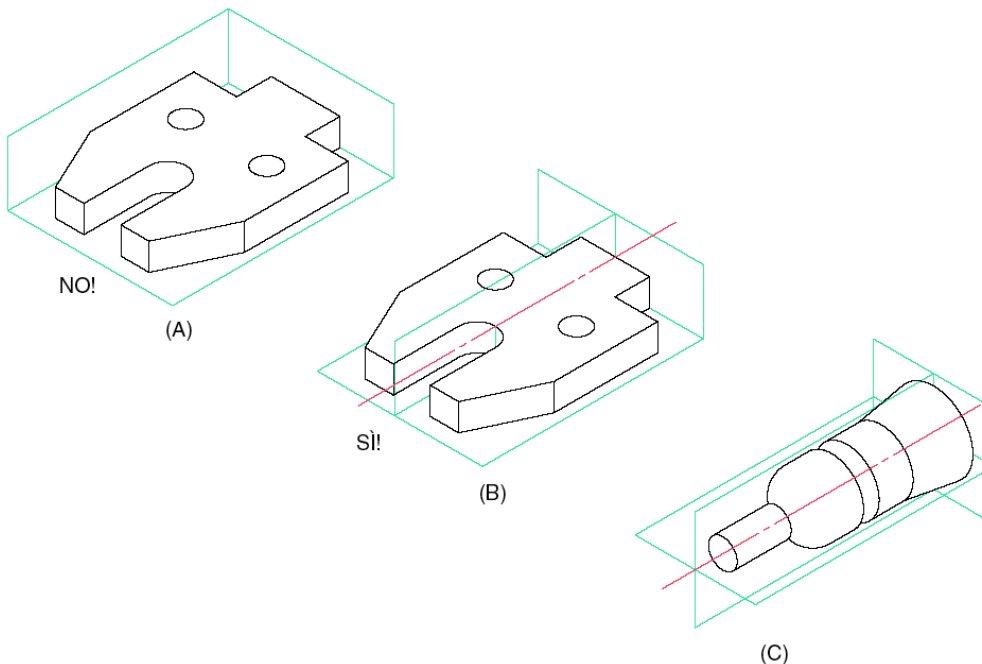
$$\begin{aligned} P_1 &= 32 \\ P_2 &= P_1/2 \\ P_2 &= 32/2 \\ P_2 &= 16 \end{aligned}$$



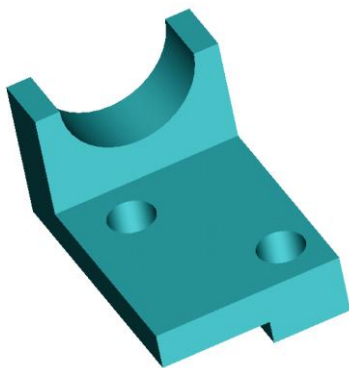
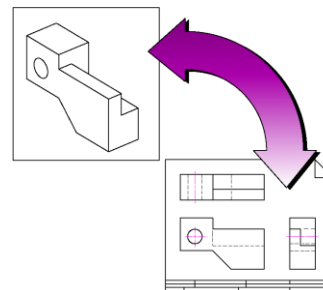
(C)

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

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

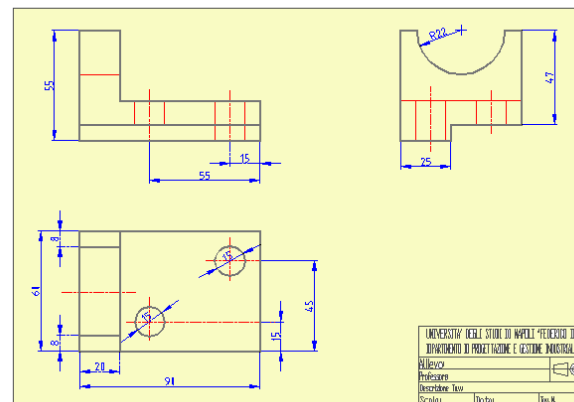


Concetto di Associatività
tra modello 3D e tavola
2D



messa in tavola
automatica

associatività



Prototipo numerico

Documento tecnico tradizionale

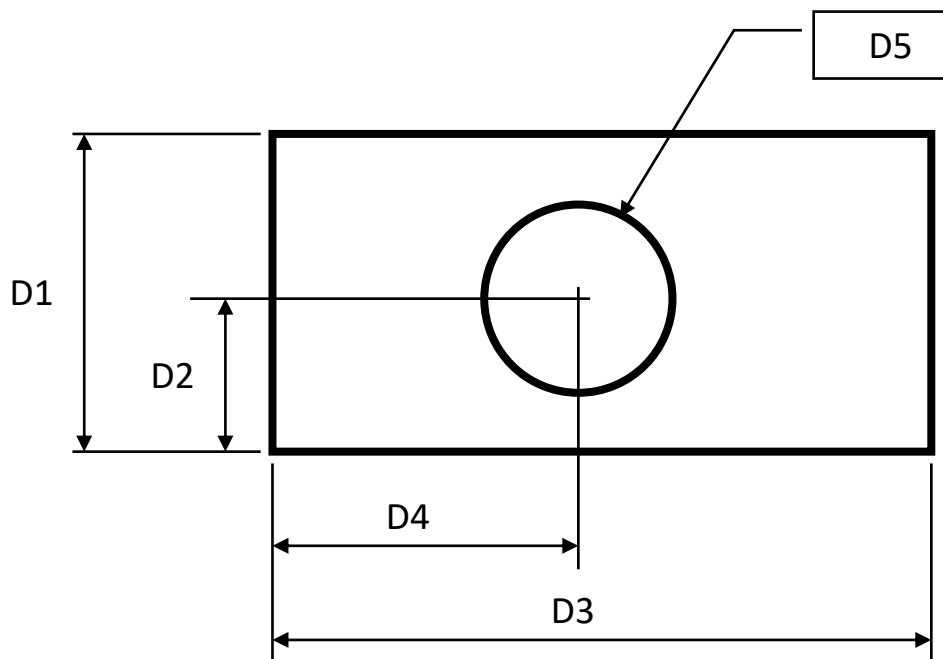
Constraint-Based Parametric Modeling



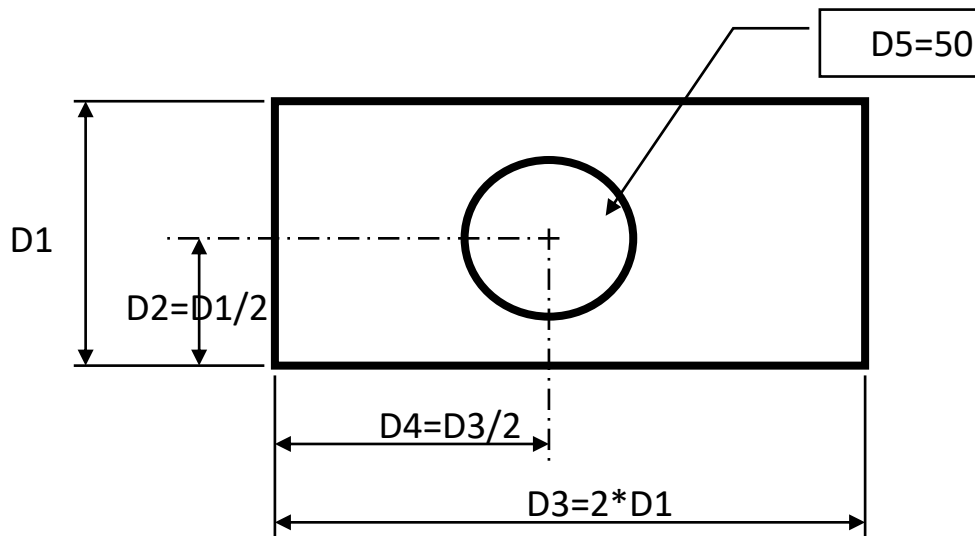
Modellazione basata sui vincoli



- 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**



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



Questo può ottenersi imponendo condizioni di vincolo (*constraint*)



Tipologie di vincoli



- Vincoli geometrici
- Vincoli dimensionali

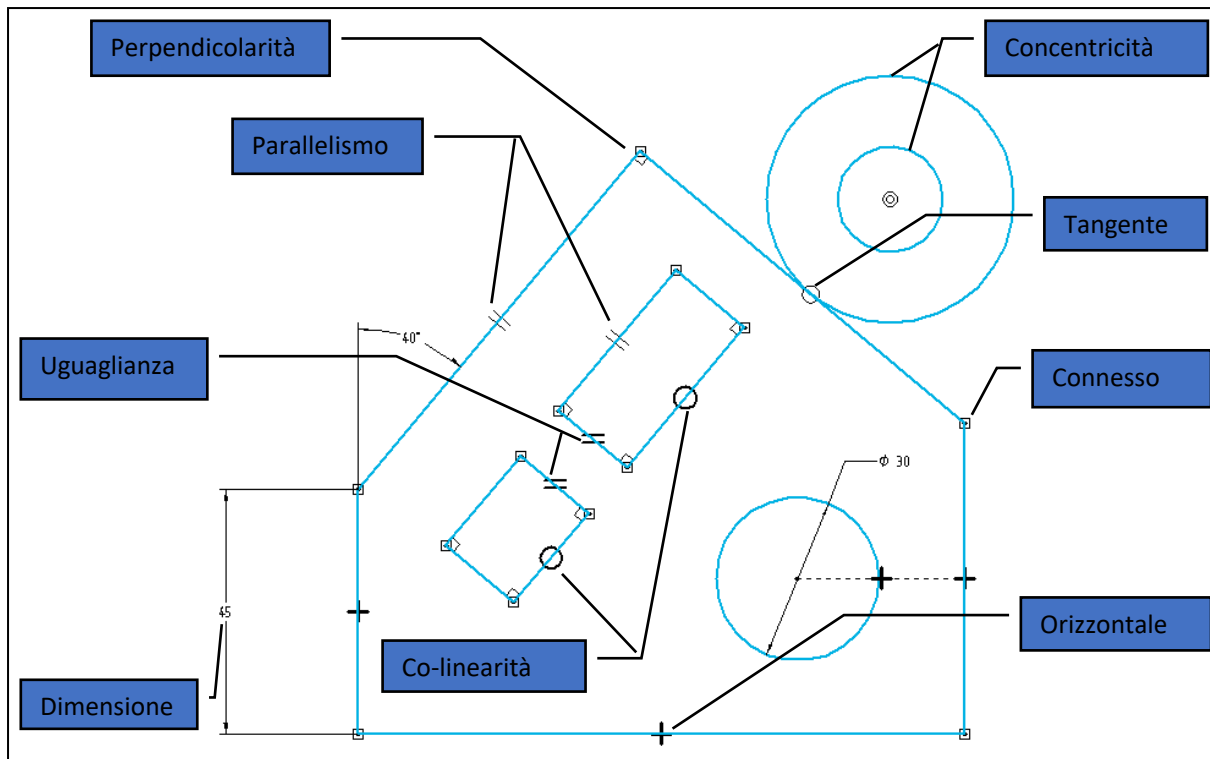
Relazione	Simbolo
Colineare	
Connessione (1 grado di libertà)	$\times$
Connessione (2 gradi di libertà)	
Concentrico	
Uguale	$=$
Orizzontale/verticale	
Tangente	
Simmetrico	
Parallela	$//$
Perpendicolare	
Collegamento al layout	



Vincoli Dimensionali

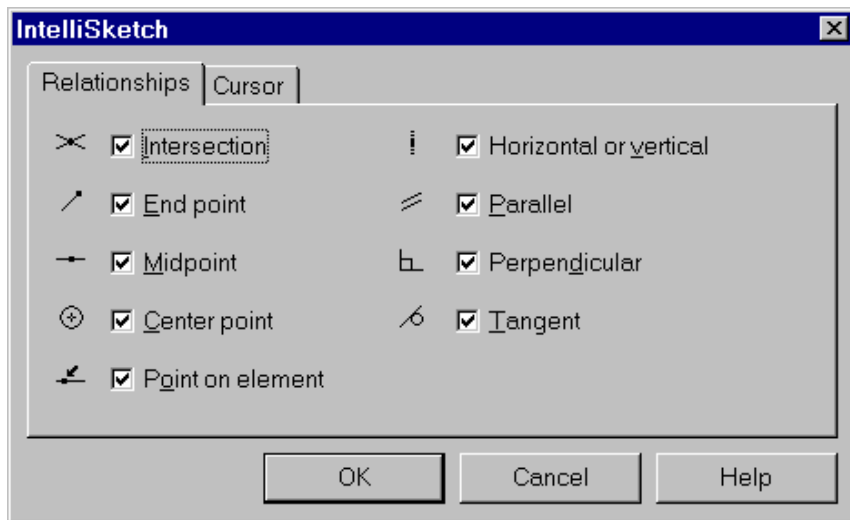


- Quota lineare
- Quota angolare
- Quota radiale

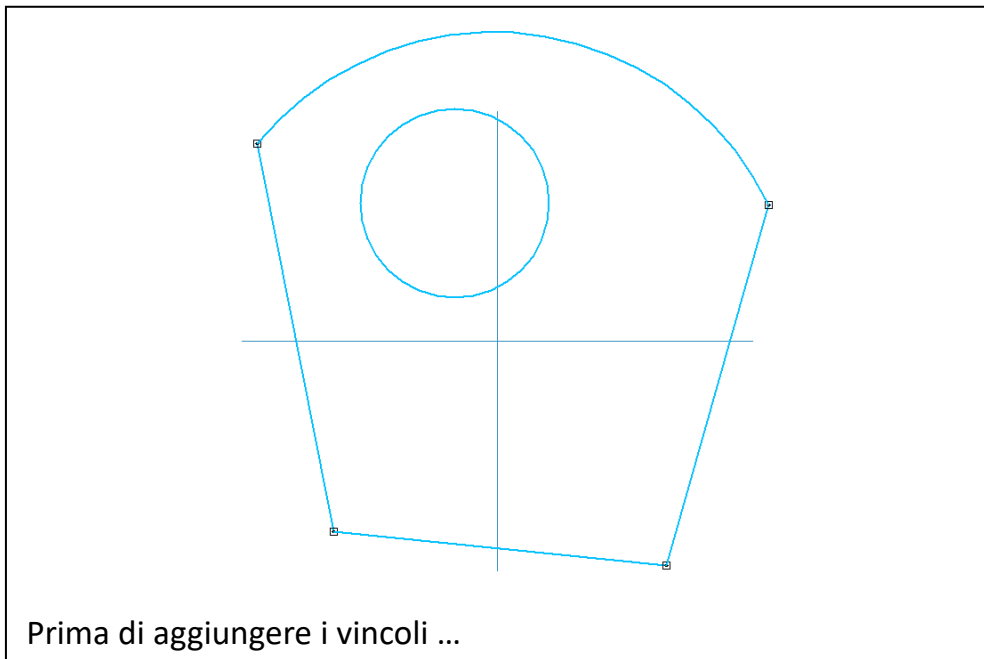


- Molti sistemi CAD utilizzano strumenti di “*smart sketching*”
- Il *Design Intent* viene dedotto e i vincoli vengono aggiunti automaticamente durante lo *sketch*
- Per esempio, due linee che sono quasi perpendicolari vengono trattate come perpendicolari per mezzo dell’aggiunta di un vincolo
- Il riconoscimento di vincoli è segnalato con uno *snap* a oggetto

- Le relazioni spuntate vengono automaticamente applicate durante lo *sketch*

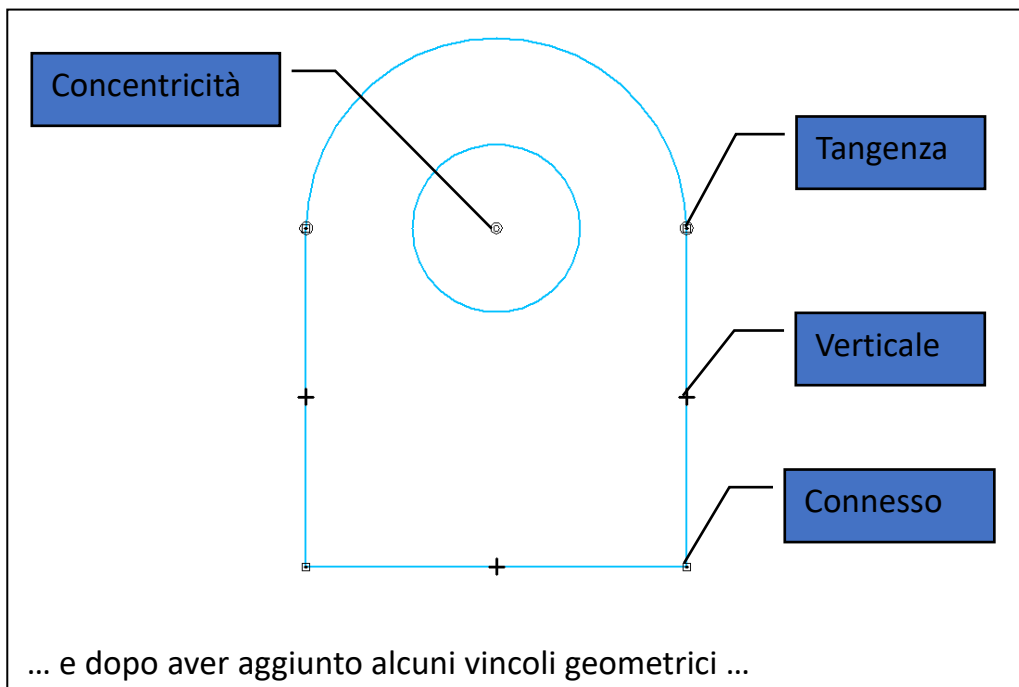


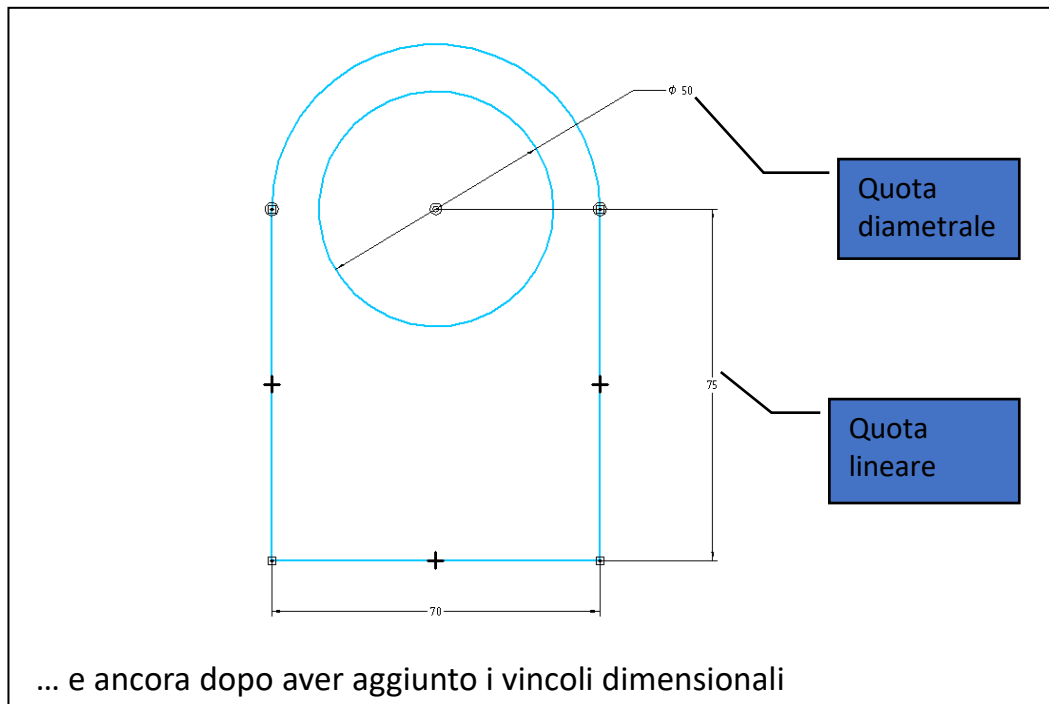
Un disegno può essere velocemente abbozzato come in figura



Prima di aggiungere i vincoli ...

Il disegno si aggiorna automaticamente dopo la scelta dei vincoli geometrici





Una **feature** è un'operazione che concorre a costituire una parte (non necessariamente solida)

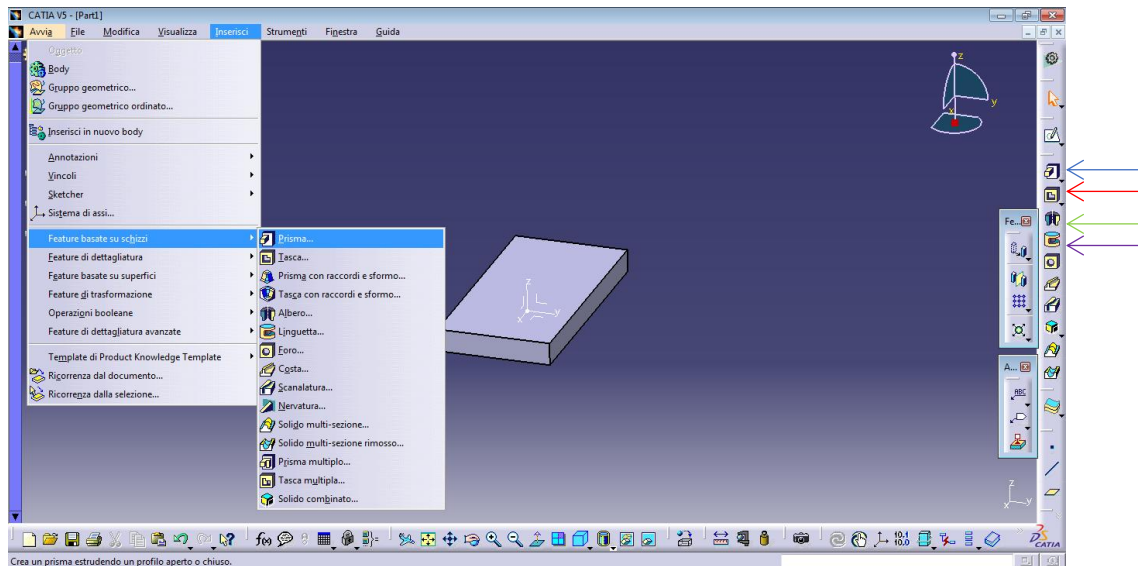
- Feature **basate su schizzo** (estrusione, rivoluzione, ecc.)
- Feature **di dettagliatura** (raccordo, smusso, sformo, ecc.)
- Feature **basate su superfici** (taglio, unione, estrazione, ecc.)
- Feature **di trasformazione** (simmetrie, matrici, ecc.)
- Feature **booleane** (unione, intersezione, ecc.)

Prisma: solido avente sezione dello schizzo e estruso nella direzione della normale al piano dello schizzo. Se lo schizzo è costituito da più profili uno interno all'altro, si ha un modello solido costituito da parti piene e vuote.

Tasca: sottrarre da un solido una parte avente sezione dello schizzo e nella direzione normale al piano dello schizzo

Albero: ottenere modelli solidi assialsimmetrici. Se lo schizzo contiene una linea asse, tale linea viene assunta come asse di rivoluzione se non si seleziona un'altra linea, che può essere una linea dello schizzo o uno spigolo di una parte già creata.

Linguetta: scavo circolare

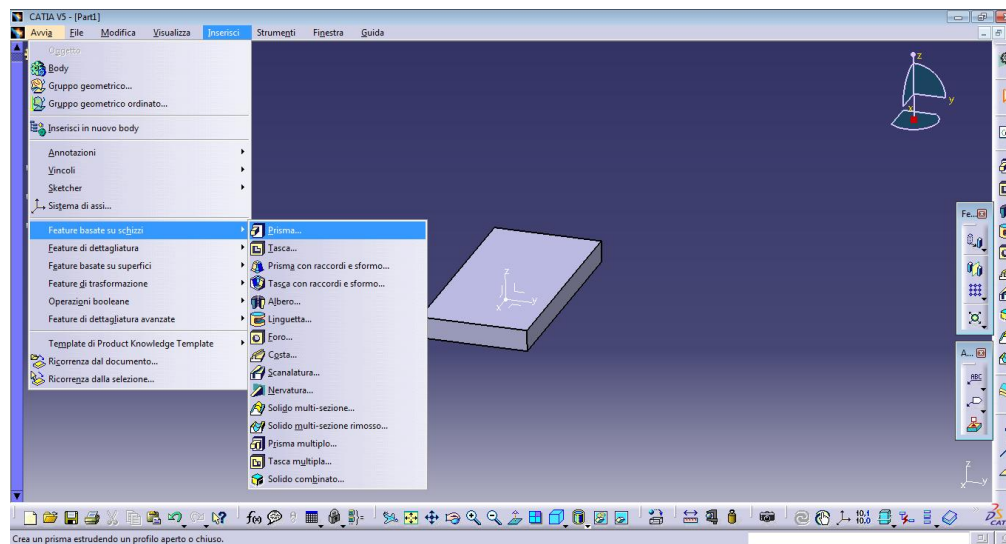


Foro: permette di creare un foro su una superficie del modello solido e richiede la selezione di una superficie il posizionamento dell' asse del foro su tale superficie. Il foro può essere semplice o svasato ed è possibile definirne la filettatura.

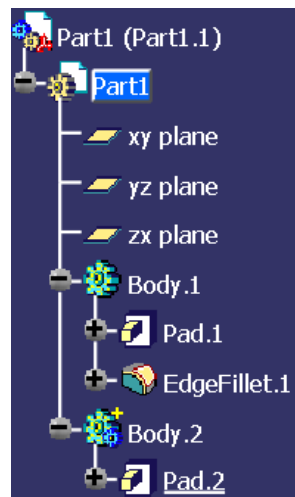
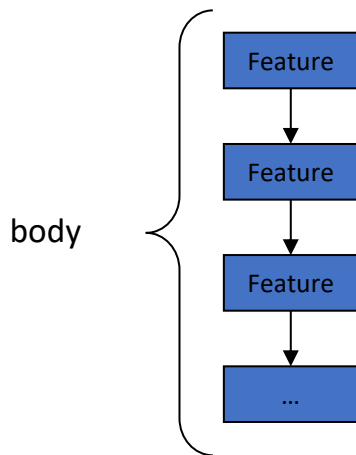
Costa: modello solido da uno schizzo (profilo) che trasla nello spazio lungo un'assegnata linea, detta direttrice. Direttrice e il profilo non devono stare sullo stesso piano.

Scanalatura: permette di asportare da un modello solido una parte, definendo uno schizzo e da una direttrice

Nervatura: permette di creare una parte solida tra due superfici, che ha la funzione di rinforzare strutturalmente delle parti.

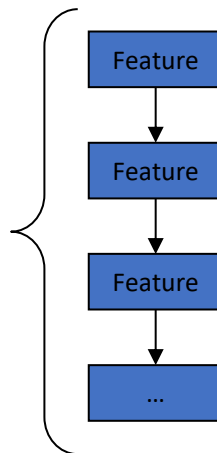


Insieme totalmente ordinato di **feature** che *concorre* a formare una **parte solida**. Una *parte solida* può contenere un qualunque numero di *body*, ma è possibile operare solo su un body alla volta.



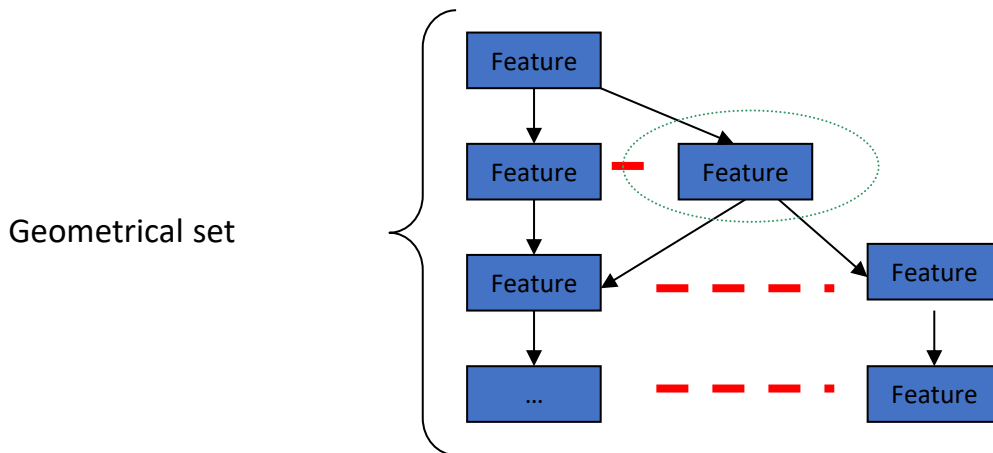
Quando un insieme di *feature* è totalmente ordinato (strettamente), le operazioni sono legate da un rapporto **stretto** del tipo *precedente-successivo*. Questo implica che una nuova operazione può **assorbire** quella precedente.

Body
/
ordered geometrical set



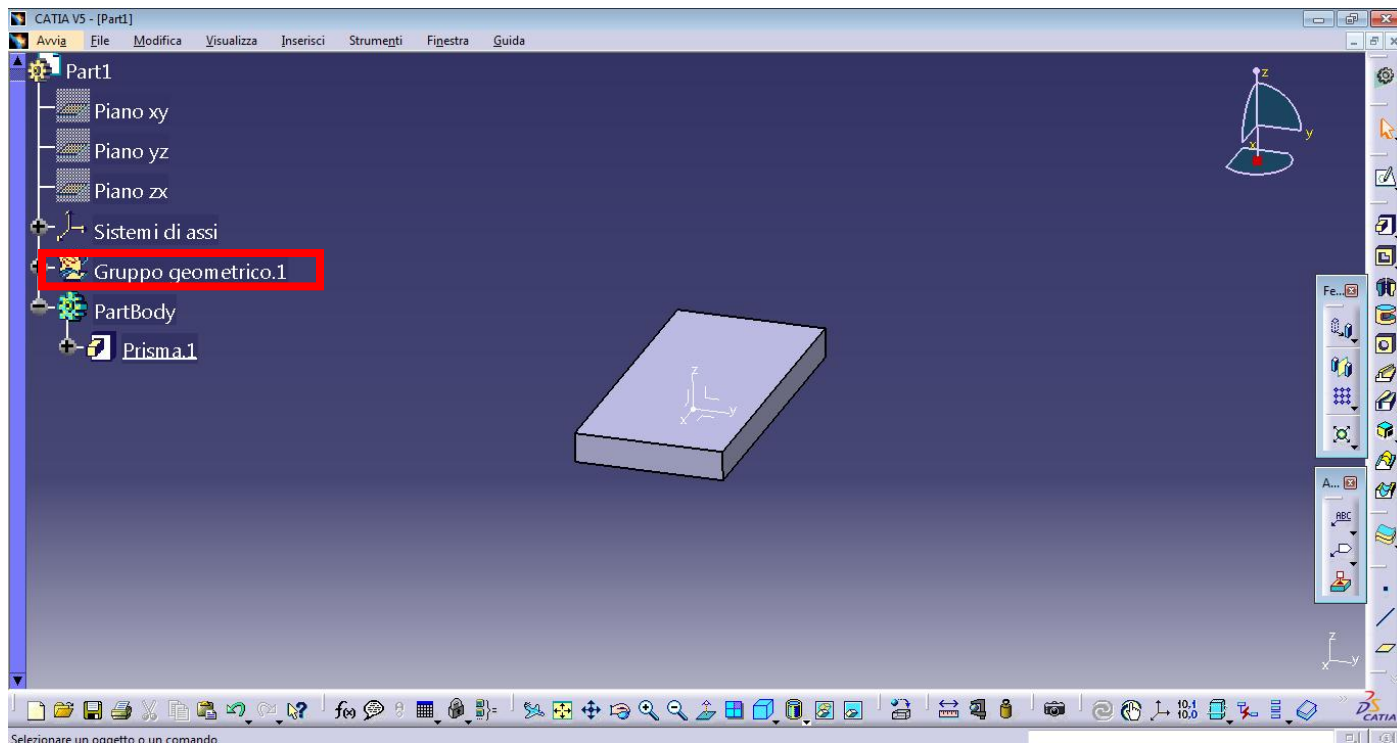
Una struttura ordinata ammette un solo risultato (oggetto di lavoro corrente – *In Work object*)

Quando un insieme di *feature* fa parte di una struttura NON totalmente ordinata, esistono coppie di features che non sono confrontabili in termini “cronologici”. Perciò le diverse *operazioni non sono mai assorbite*: i risultati intermedi possono essere riutilizzati per applicarvi nuove features.

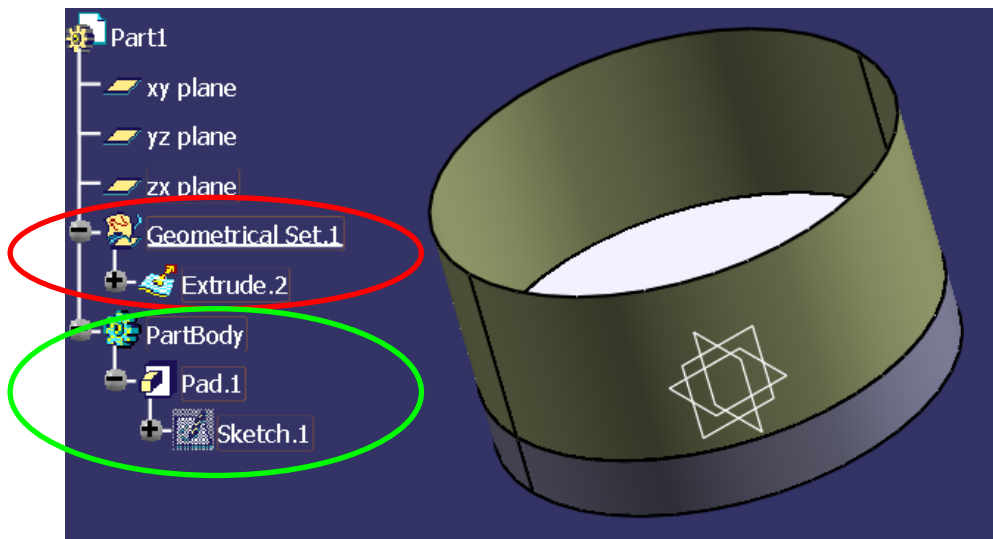


Una struttura non totalmente ordinata ammette tanti risultati quante sono le feature che essa contiene

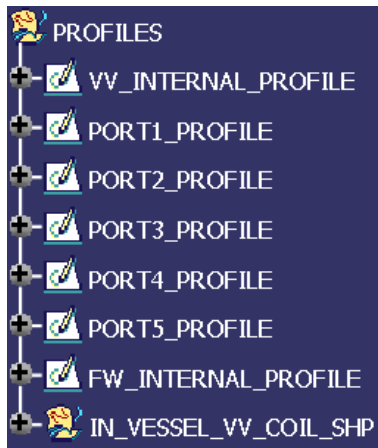
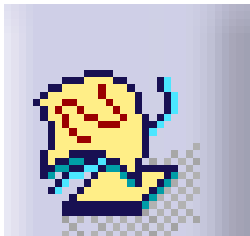
Un **body solido** contiene esclusivamente **feature solide**. Le features non solide, (es. operazioni su curve e superfici) **devono** trovarsi in una struttura geometrica separata (*Geometrical Set*)



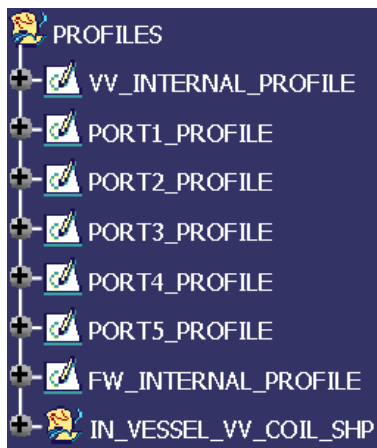
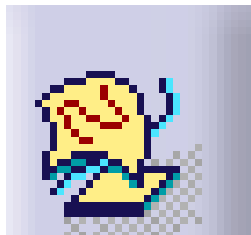
Un **body solido** contiene esclusivamente **feature solide**. Le features non solide, (es. operazioni su curve e superfici) **devono** trovarsi in una struttura geometrica separata (*Geometrical Set*)



NOTA: il body è una struttura ordinata da relazioni padre-figlio: anche le **feature non solide** al suo interno risulteranno **ordinate**. Ciò significa che anche esse **saranno soggette ad assorbimento**



- I gruppi geometrici (*geometrical set*) non ordinati consentono di raccogliere diverse **feature non solide** in un insieme non totalmente ordinato
- Non esiste il concetto di assorbimento
- Non esistono oggetti di lavoro corrente ("in work object")
- I gruppi geometrici non ordinati servono esclusivamente ai fini dell'organizzazione logica del modello
- Le feature contenute in un gruppo geometrico non totalmente ordinato non appaiono necessariamente secondo la cronologia di creazione

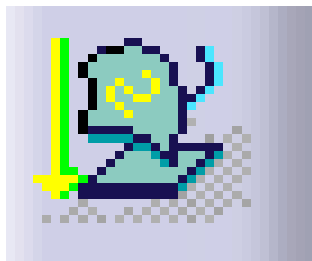


VANTAGGI

- Disattivando i collegamenti per riferimento fra parti e profili, il progettista dispone di uno strumento molto flessibile per definire le forme di un manufatto, senza essere vincolato da un ordine rigoroso nello sviluppo del design
- Non ci sono problemi di assorbimento: la stessa feature può essere utilizzata per più operazioni

SVANTAGGI

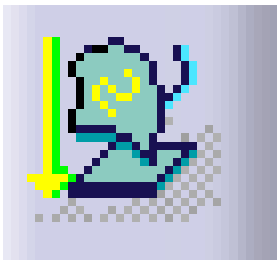
- se non si rispettano linee guida e logiche di modellazione condivise, può diventare difficile ricostruire la *design history* del modello. Pertanto interoperabilità e manutenzione del dato possono diventare complicate



- I gruppi geometrici totalmente ordinati (*Ordered Geometrical Set*, OGS) introducono il concetto di **assorbimento** e di **oggetto di lavoro corrente** (*in-work object*) per le feature non solide



- L'ordine di apparizione delle feature nell'albero logico delle specifiche è congruente con i passi che hanno generato il design



VANTAGGI

- Il dato è più facilmente interoperabile poiché è possibile rileggere passo-passo l'insieme delle operazioni (*design history*) che hanno portato ad un certo risultato (*design intent*)

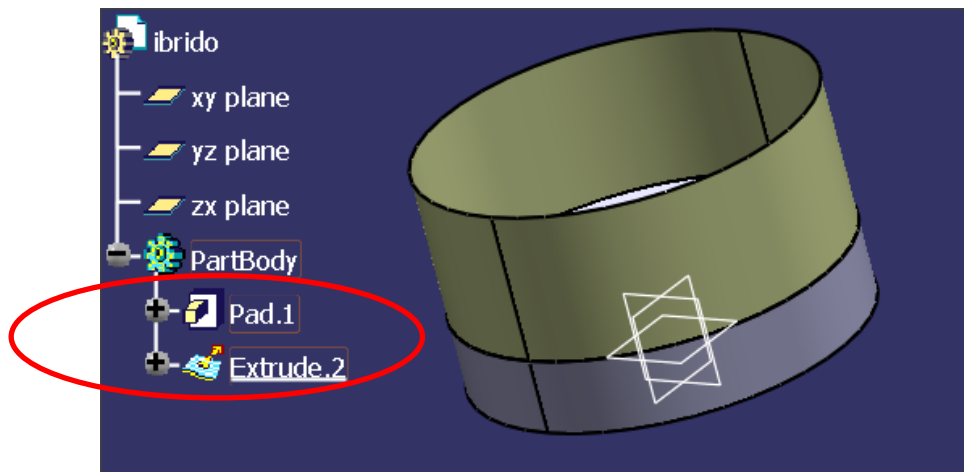


SVANTAGGI

- Alcuni risultati intermedi potrebbero non essere disponibili a causa dell'assorbimento da parte di feature di trasformazione o dettagliatura

Appendice: Modellazione Ibrida

può contenere anche feature non solide, come volumi (b-rep) e operazioni su curve e superfici



NOTA: il body è una struttura ordinata da relazioni padre-figlio: anche **le feature non solide** al suo interno risulteranno ordinate. Ciò significa che anche esse **saranno soggette ad assorbimento**



E'una modalità di lavoro che prevede l'utilizzo di solidi ibridi

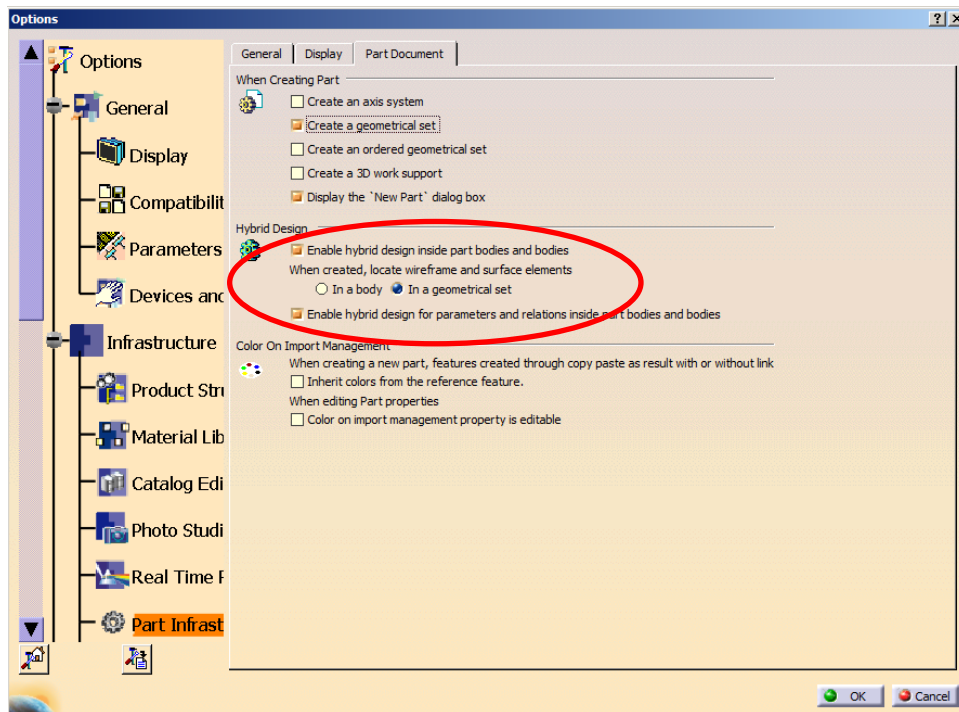
VANTAGGI

Consente interazioni avanzate fra solidi e superfici (es. creazione di body solidi da modelli di volume all'interno di *geometrical set* ordinati)

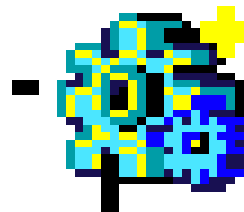
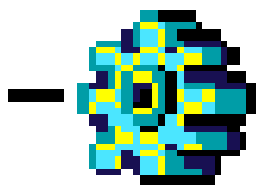
SVANTAGGI

In molti scenari industriali, in cui le *feature* non solide sono utilizzate per riferimenti di lavoro, **la modellazione ibrida può contribuire a creare confusione nell'albero del modello e quindi problemi nella manutenzione del dato**

In ogni caso, è sempre possibile operare in modo tradizionale e creare un *geometrical set* (ordinato o non) che contenga le feature non solide



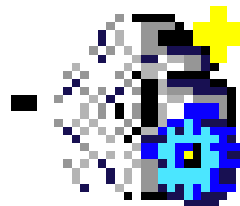
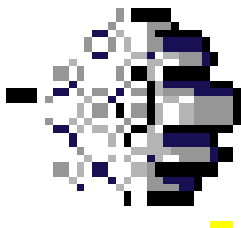
Quando la tipologia di body (ibrido o solido) è **coerente** con la modalità di modellazione corrente (ibrida o solida) esso è designato con una **rotella verde**



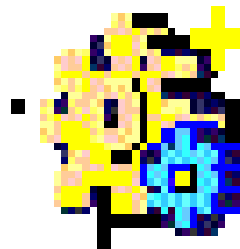
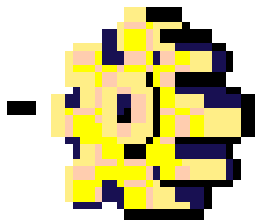
- Body ibrido in un ambiente di modellazione ibrida
- Body solido in un ambiente di modellazione solida

Quando la tipologia di body (ibrido o solido) **non** è **coerente** con la modalità di modellazione corrente (ibrida o solida) vi sono 2 casi:

- **Body solido** visualizzato in un ambiente di **modellazione ibrida** (rotella grigia)

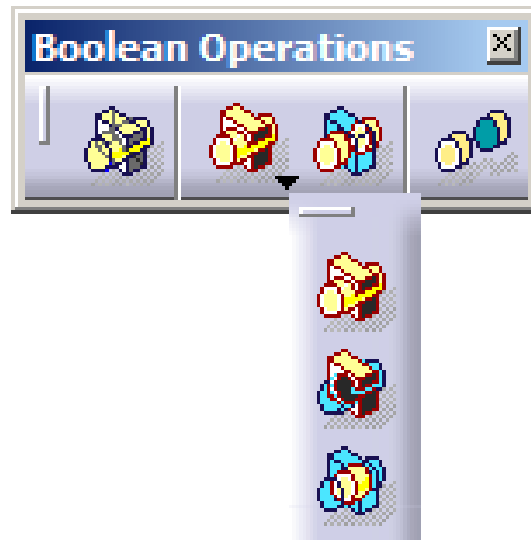


- **Body ibrido** visualizzato in un ambiente di **modellazione solida** (rotella gialla)



I diversi body si comportano come solidi indipendenti, dunque il contesto di assorbimento è limitato al singolo body.

I body possono essere operati da **feature booleane** (addizione, sottrazione, intersezione, assemblaggio, relimitazione, ecc.)





La modellazione multi-body in generale è utilizzata per:

- Utilizzo di **primitive complesse** per matrici e operazioni booleane
- Disegno di semplici **parti saldate** (staffe, flange, ecc.)
- **Modelli concettuali** (per semplicità, al posto degli assiemi)
- Modelli per analisi **FEM/CFD** (ogni body identifica un dominio)
- Modelli di **catalogo** (singola parte multi-body a partire da assieme)