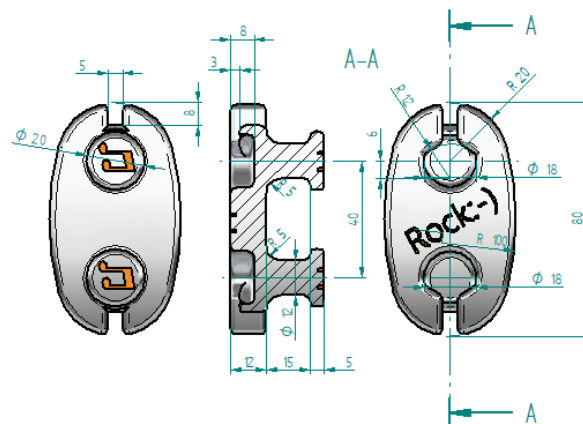


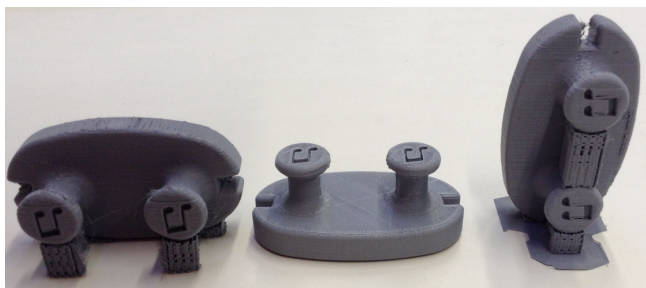
Esercitazione di modellazione 3D parametrica

A cura di Marco Benni

Proponiamo un'esercitazione di modellazione parametrica per la creazione di un oggetto personalizzato e la sua realizzazione con una stampante 3D. Una volta creato il modello, con la tecnologia di scansione 3D vediamo come creare l'esatta geometria del corpo auricolare per permetterne un perfetto inserimento dentro il porta-auricolare.



RACCORDI NON QUOTATI R2
SCALA 1:1
DENOMINAZIONE: Rock-)



1 Modellazione 3D

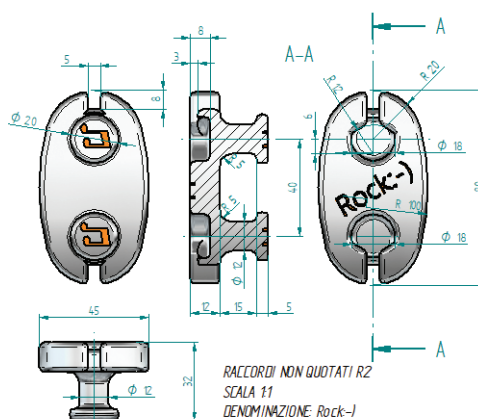
Proponiamo un'esercitazione di modellazione solida con metodo parametrico per la creazione di un oggetto personalizzato, un porta-auricolare denominato "Rock:-)", e la sua realizzazione con una stampante 3D. Per questo progetto utilizziamo il software Solid Edge® Student Edition prodotto dalla Siemens, nella modalità ordinata parametrica, e il software Cura per la gestione della stampa 3D tramite la creazione del G-code, mettendo in evidenza come eventuali sottosquadri, la posizione e l'orientamento nel piano di stampa influiscono sul risultato estetico del modello. Con la tecnologia di scansione 3D (*reverse engineering*) vediamo come creare l'esatta geometria del corpo auricolare, e quindi la sua cavità, per permetterne un perfetto inserimento dentro il porta-auricolare.

1.1 Il Modello Rock:-)

Si tratta di un modello di forma ovale (Fig. 1) con due risalti per avvolgere i cavi e due cavità per fissare i corpi auricolari. L'approccio alla modellazione, anche se realizzata con il software Solid Edge, è di metodo, in modo da poter essere replicata con qualsiasi altro software CAD 3D di tipo parametrico.

Figura 1

Forma e dimensioni del modello Rock:-).



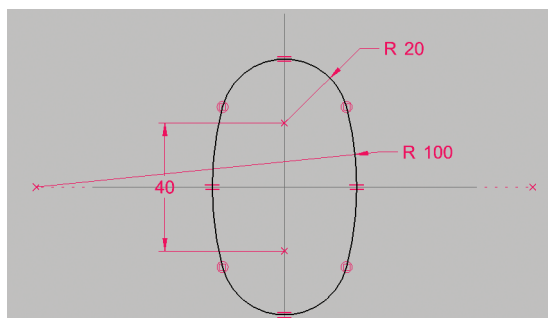
Le dimensioni riportate sono espresse in mm (come prevede la normativa per il disegno meccanico); eventuali variazioni o varianti di forma sono previste nel corso della progettazione del modello. Per iniziare il modello occorre definire la forma primitiva che stabilisce il modo di plasmare il primo solido. Questa è costituita dalla geometria primitiva dell'ovale che con il comando ESTRUDI (chiamato anche **protrusione**) permette di ottenere tale risultato. Alcuni sistemi CAD richiedono di disegnare prima lo schizzo dell'ovale e poi decidere il tipo di estrusione, mentre altri, come Solid Edge, permettono di disegnare lo schizzo all'interno del comando ESTRUDI.

a) Realizzazione dell'ovale

Una volta entrati in Solid Edge si sceglie l'ambiente PARTE METRICA e modalità ORDINATO. Se si trova in modalità SINCRONA, si seleziona il comando sulla voce SINCRONO e con tasto destro si seleziona MODALITÀ ORDINATO. Al cliccare sull'icona ESTRUDI (👉) viene richiesto su quale piano appoggiarsi per disegnare il successivo schizzo dell'ovale: generalmente si clicca sul piano xy e si entra in un ambiente schizzo bidimensionale dove in alto compaiono delle icone con simboli delle primitive (per esempio linea, rettangolo e arco) per disegnare l'ovale (Fig. 2).

Figura 2

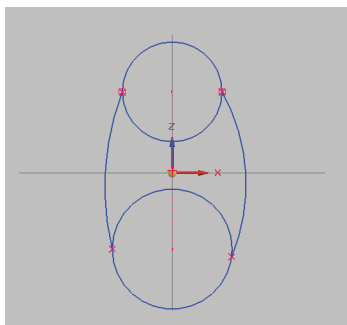
Schizzo dell'ovale.



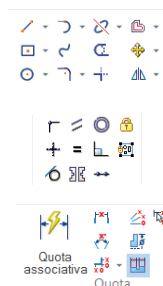
Per definire la corretta geometria occorre prima impostare una forma approssimata (**Fig. 3**), e, successivamente, con una serie di quote e vincoli di tangenza tra arco e circonferenza e simmetria o uguaglianza rispetto al piano centrale (**Fig. 4**), viene completata la cosiddetta **parametrizzazione della figura**.

Figura 3

Schizzo approssimato dell'ovale.

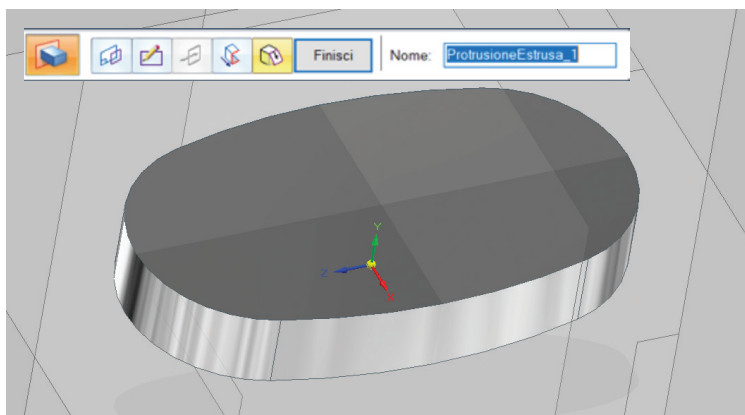
**Figura 4**

Comandi linea, arco, cerchio, vincoli e quote parametriche (associative).



Si potrebbe realizzare immediatamente il disegno con le dimensioni indicate, ma il consiglio è di schizzare una forma simile perché, nel momento in cui vengono inserite le quote parametriche (modificando il valore a quello richiesto) e i vincoli, ci si accorge che la geometria si modifica nella forma corretta. Parametrizzando la geometria si nota il cambiamento di colore dal blu al nero, per segnalare che la parametrizzazione è avvenuta.

È importante ricordare che per selezionare qualsiasi entità in Solid Edge occorre cliccare sull'icona SELEZIONA (N). Invece, per solidificare la geometria è necessario cliccare la spunta verde (✓) o CHIUDI SCHIZZO (C) e seguire le informazioni elencate nel toolbar per definire lo spessore e il lato di estrusione, se simmetrico rispetto al piano selezionato, oppure su lati non simmetrici (S). Con Solid Edge occorre sempre uscire dal percorso di modellazione selezionando FINISCI e, in successione nella stessa finestra, ANNULLA. In **Figura 5** è rappresentata la prima parte del modello solido.

**Figura 5**

Prima parte del modello solido.

Poiché si tratta di un particolare simmetrico, occorre solidificare o sottrarre porzioni di solidi solo su un lato, dato che con il comando di simmetria è possibile ottenere il modello completo. Al termine è opportuno realizzare dei raccordi sui vari bordi del modello per renderlo ergonomico al tatto. Inoltre, è possibile incidere disegni e lettere sull'oggetto, valorizzando l'aspetto finale.

Le parti inserite nel corpo ovale (perni portacavo, cavità porta-auricolare e tacche di passaggio dei cavi) sono simmetriche rispetto all'asse minore del corpo ovale. Per questo motivo, nei punti che seguono (fino al punto e) descriviamo la realizzazione delle parti da uno dei lati, per poi rispecchiarle dall'altro per simmetria.

b) Perno portacavo

Procediamo all'estrusione del cilindretto in due porzioni di altezza. Con il comando ESTRUSIONE ci appoggiamo sul piano superiore del solido e realizziamo con CERCHIO PER CENTRO (O)

la circonferenza in corrispondenza del centro dell'ovale (Fig. 6), aiutandoci con gli *snap* (o *IntelliSketch*) attivati in automatico. Con l'icona verde CHIUDI SCHIZZO solidifichiamo il cilindretto di altezza interna di 15 mm e terminiamo con i comandi FINISCI e ANNULLA. In modo analogo realizziamo il secondo cilindretto di diametro 20 mm e di altezza 5 mm, fissando una posizione concentrica a quello appena realizzato (Fig. 7).

Figura 6

Circonferenza di diametro 12 mm posizionata al centro dell'ovale.

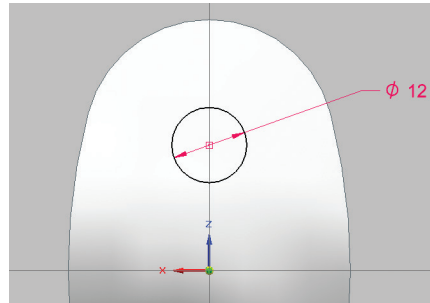
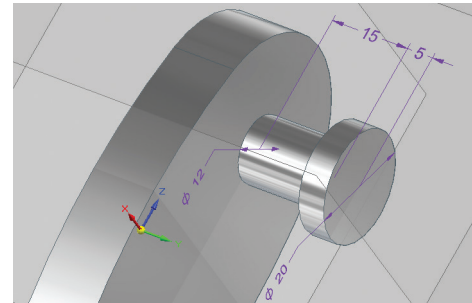


Figura 7

Risultato della solidificazione dei due cilindretti.



c) Realizzazione della cavità di alloggiamento del corpo auricolare

Realizziamo ora la cavità dell'auricolare usando l'opzione SCAVO CIRCOLARE. Nel paragrafo 2 vedremo come ottenere uno scavo con l'esatta forma dell'auricolare solidificato utilizzando il metodo di scansione 3D chiamato *reverse engineering*. Con il comando TAGLIA ci appoggiamo sulla superficie inferiore dell'ovale (lato opposto al piano del cilindretto) e disegniamo con CERCHIO PER CENTRO la circonferenza di diametro 18 mm posizionata al centro del cilindretto. Con l'icona verde CHIUDI SCHIZZO sottraiamo materiale per una profondità di altezza di 8 mm e terminiamo con i comandi FINISCI e ANNULLA (Fig. 8 e 9).

Figura 8

Circonferenza di diametro 18 mm posizionata al centro del cilindretto.

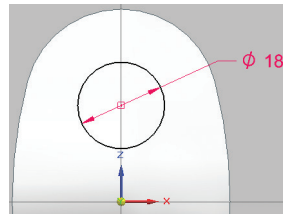
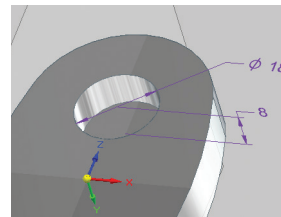


Figura 9

Risultato dello scavo della sede dell'auricolare.



Per evitare che l'auricolare si possa sfilare, realizziamo una piccola sporgenza in modo da creare un incastro. Con il comando ESTRUSIONE ci appoggiamo sul piano dell'ovale dal lato della cavità appena fatta e disegniamo una specie di luna con il comando CERCHIO PER CENTRO e ARCO PER TRE PUNTI. Un'alternativa è copiare la geometria del cerchio con il comando PROIEZIONE SU SCHIZZO (☞) selezionando direttamente il bordo della circonferenza dello scavo precedentemente fatto. In questo caso occorre eliminare con il comando RITAGLIA (⊞) la parte di circonferenza che sporge dall'arco (Fig. 10 e 11).

Figura 10

Parametri per proiezione su schizzo.

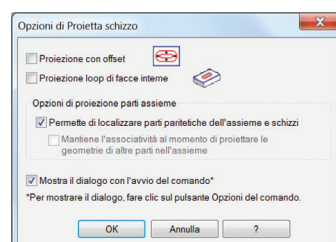
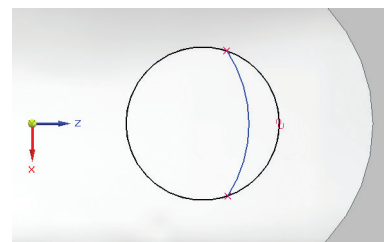


Figura 11

Selezione del bordo della circonferenza per avere la proiezione su schizzo.



Occorre sempre vincolare la geometria in modo da mantenerla allineata con l'asse orizzontale e inserire le quote parametriche (Fig. 12). Con l'icona verde CHIUDI SCHIZZO solidifichiamo di uno spessore di altezza di 3 mm e terminiamo con i comandi FINISCI e ANNULLA (Fig. 13).

Figura 12

Quote e vincoli del profilo a forma di luna.

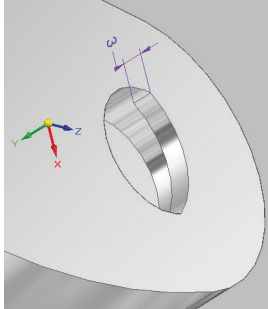
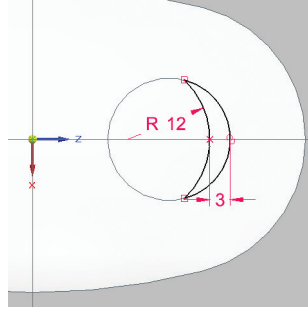


Figura 13

Risultato della sporgenza per l'incastro del corpo auricolare.



d) Realizzazione della tacca di passaggio dei cavi

Con il comando TAGLIA realizziamo due cavità rettangolari a diverse profondità per il passaggio dei cavi dell'auricolare: il primo taglio a una profondità di 3 mm, mentre il secondo è passante per raggiungere la superficie esterna (Fig. 14).



Figura 14

Icona per le profondità di taglio.

Con PROIEZIONE SU SCHIZZO è facile copiare la geometria delle parti tonde. Per semplificare l'operazione, nel primo taglio si consiglia di appoggiarsi sulla superficie dell'ovale sul lato della cavità auricolare, mentre nel secondo taglio ci si appoggia sul lato opposto per ricavare una profondità tipo passante senza interferire con altri solidi (Figg. 15 e 16).

Figura 15

Schizzo dello scavo rettangolare profondo 3mm.

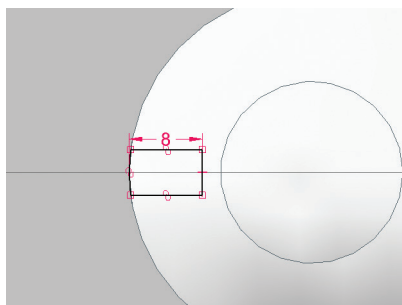
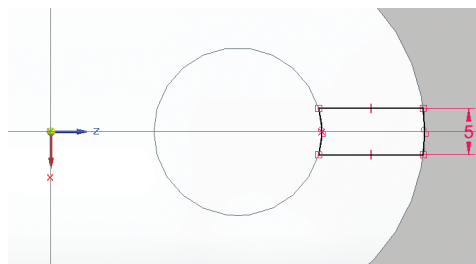


Figura 16

Schizzo dello scavo rettangolare passante.



In **Figura 17** viene riportato il risultato finale dei due tagli.

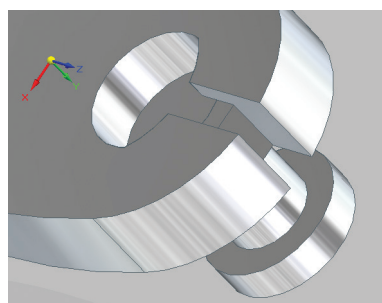
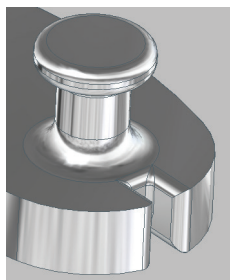


Figura 17

Risultato dei due tagli per il passaggio dei cavi dell'auricolare.

Figura 18

Risultato finale della sequenza dei vari raccordi.



e) Realizzazione dei raccordi

A questo punto si procede a raccordare gli spigoli delle sole parti che poi verranno replicate con una simmetria; si consiglia di farlo per bordi omogenei con gli stessi valori di raggio. Con il comando RACCORDA (☞) è possibile selezionare gli spigoli interessati utilizzando la modalità singola BORDO oppure la modalità multipla A CATENA, per poi inserire il valore del raccordo nella voce RAGGIO.

In Solid Edge per confermare la selezione occorre spuntare l'icona verde (☑) oppure deselezionare l'icona rossa (☒) e completare l'operazione selezionando ANTEPRIMA, FINISCI e ANNULLA (Fig. 18).

Nota bene

L'operazione RACCORDA per il CAD 3D può restituire messaggi di errore e non essere completata, in quanto a volte richiede operazioni matematiche particolarmente complesse. Spesso il buon esito dipende dalla sequenza delle selezioni dei bordi o dalle opzioni/parametri inserite nelle modalità di raccordo. Frequentemente la causa dell'errore sono i valori di raggiatura superiori allo spessore della massa solida a disposizione.

f) Copia speculare delle parti simmetriche

Adesso ci occupiamo della simmetria di tutto quello che deve essere replicato e specchiato. Questa operazione viene fatta con il comando COPIA SPECULARE (☞). È importante non confondere questo comando con il comando COPIA PARTE (☞), il quale andrebbe a replicare tutto il modello. Ora selezioniamo attentamente le sole lavorazioni (*feature*) interessate (conviene selezionarle dall'albero delle *feature*, chiamato PATH FINDER, in quanto ben distinte e individuabili), accettiamo con la spunta verde e selezioniamo il piano di simmetria. In quest'ultimo caso, avendo realizzato appositamente il modello in centro, basta selezionare il piano centrale xy oppure quello che lo identifica in mezzeria (Fig. 19). Se la selezione è stata corretta, con FINISCI si completa l'operazione e si vedono tutti gli elementi riprodotti dalla parte opposta (Fig. 20). Questi nuovi elementi dipendono da quelli generati, quindi una variazione di misura di questi produce un aggiornamento automatico di quelli copiati (concetto di parametrizzazione). Completiamo l'operazione di raccordo dei bordi rimasti spigolosi con il comando RACCORDA.

Figura 19

Selezione degli elementi da copiare e speculare.

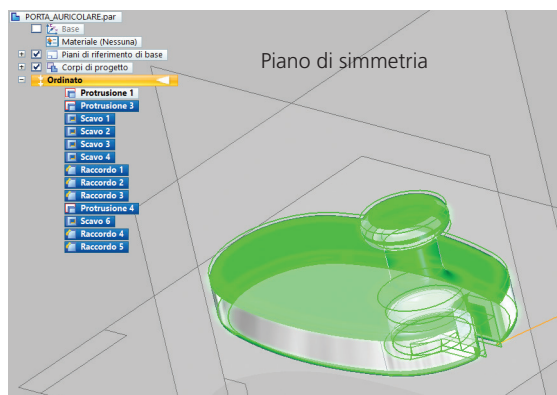
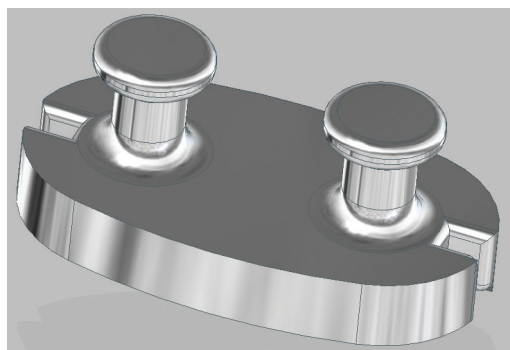


Figura 20

Risultato dell'operazione COPIA SPECULARE.



g) Realizzazione delle scritte di personalizzazione

Per personalizzare il modello con dei testi, simboli o immagini possiamo realizzare delle incisioni sulle superfici utilizzando il comando TAGLIA.

A questo scopo selezioniamo la superficie inferiore sul lato longitudinale e dal menu a tendina STRUMENTI selezioniamo l'icona PROFILO TESTO (T): si apre una finestra dove possiamo inserire testi con qualsiasi formato, dimensione e angolazione. Scriviamo "Rock:-)" con dimensione 10 e grassetto. Usciamo dallo schizzo e impostiamo una profondità di dimensione 1 mm (Fig. 21). In modo analogo, incidiamo con il comando TAGLIA le due superfici dei cilindretti dove possiamo inserire un simbolo con PROFILO TESTO, ricercandolo nella libreria dei caratteri oppure disegnandolo con delle primitive (Fig. 22).

Figura 21

Incisione di testo.



Figura 22

Incisione di simboli disegnati con primitive.



1.2 Variante del Modello Rock:-)

Può essere interessante vedere come sullo stesso modello sia possibile creare una variante sulla forma e geometria. Poiché è un modello parametrico, le dimensioni di qualsiasi geometria possono essere cambiate in un qualsiasi momento selezionando la *feature* con il tasto destro in modo da far comparire tre icone (Fig. 23):

- MODIFICA DEFINIZIONE:** permette di modificare il piano di riferimento, la forma dello schizzo o la misura;
- MODIFICA PROFILO:** permette di modificare la forma dello schizzo e la misura;
- MODIFICA QUOTA:** permette di modificare le misure.

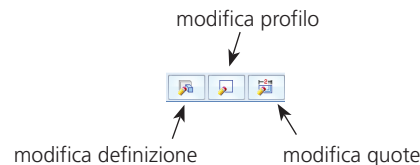


Figura 23

Comandi di modifica.

Ci si può spingere a modifiche più articolate, con la possibilità di salvarle all'interno dello stesso file, utilizzando l'applicativo FAMIGLIA DI PARTI (👤), il quale permette di gestire delle varianti nuove salvate all'interno dello stesso file e quindi recuperabili in gruppi, consentendo di visualizzare diverse configurazioni (ossia varianti) dello stesso modello. L'interfaccia dell'applicativo FAMIGLIA DI PARTI permette di nominare infinite nuove varianti, cancellarle, visualizzarle e renderle attive tramite un elenco. Tutte queste varianti hanno come *Master* il file originale, dove è possibile decidere quali parti devono essere mantenute, sopprresse o aggiunte (Fig. 24).

Nella nuova variante consigliamo di eliminare dal Master i raccordi di fondo e di testa e il simbolo inciso sui due cilindretti, per poi rifarlo su una superficie più ampia.

Clicchiamo sull'icona VARIANTE NUOVA (👤) e la chiamiamo "Variante-Rock". In questa variante ci proponiamo di sostituire i due perni portacavo in uno solo di forma ellittica come il supporto, con uno scasso intermo di alleggerimento.

La tabella delle varianti è composta da Master nella prima colonna (da non modificare) e dalla variante che abbiamo creato nella seconda colonna. Scorrendo l'albero delle *feature* è possibile sopprimere o meno i raccordi e il simbolo sui cilindretti; dopo averli soppresso, con il comando APPLICA non si vedranno nel nuovo modello.

a) Trasformazione dei due perni in un perno unico

Aggiungiamo del materiale inglobando i due cilindretti con il comando ESTRUDI e appoggianoci sul piano dove iniziano gli stessi. Disegniamo un ovale simile al perimetro esterno a una distanza di offset di 14 mm utilizzando il comando PROIEZIONE SU SCHIZZO con la spunta su PROIEZIONE CON OFFSET (☞).

Figura 24

Interfaccia del menu FAMIGLIA DI PARTI.



Al cliccare su OK e selezionando il perimetro esterno si vede costruire lo stesso ad una distanza di 14 mm (Fig. 25). Con l'icona verde CHIUDI SCHIZZO lo estrudiamo per uno spessore che giunge fino a intercettare lo *snap* in prossimità del centro del cilindretto superiore (senza dover digitare 14 mm) e otteniamo il solido intero. La stessa cosa viene fatta per i cilindretti di diametro maggiore, anche se in questo caso con un offset di 10 mm (Fig. 26).

Figura 25

Comando PROIEZIONE CON OFFSET per disegnare l'ovale interno a 14 mm.

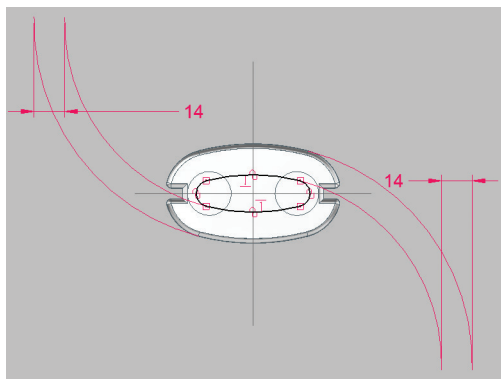
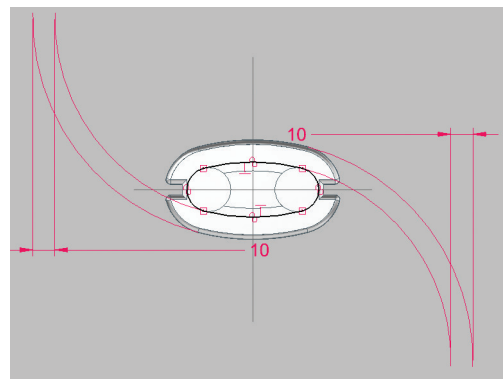


Figura 26

Comando PROIEZIONE CON OFFSET per disegnare l'ovale esterno a 10 mm.



b) Scasso centrale di alleggerimento

Aggiungiamo uno scasso centrale a forma di ellisse per alleggerire il modello. Con il comando TAGLIA ci appoggiamo al piano tangente della superficie laterale appena fatta e disegniamo l'ellisse con il comando ELLISSE PER CENTRO, all'interno dell'icona CERCHIO PER CENTRO (Fig. 27). Usando CHIUDI SCHIZZO, selezioniamo l'icona PASSANTE (o SIMMETRICO, se ci siamo appoggiati al piano medio) per completare l'operazione.

Terminiamo questa nuova variante con una serie di raccordi e inseriamo con TAGLIA i simboli incisi nella parte superiore dell'ellisse. Il solido finito viene salvato all'interno dello stesso file (Fig. 28).

Figura 27

Realizzazione di uno scasso centrale.

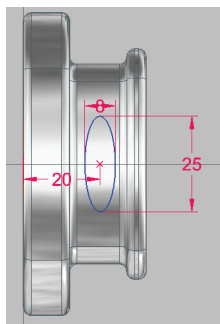
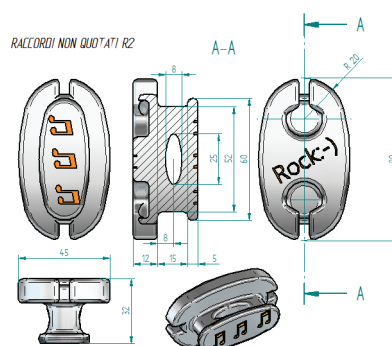


Figura 28

Modello completo di Variante-Rock.



1.3 Stampa 3D del Modello Rock:-)

In questo paragrafo vediamo come realizzare il prototipo del modello precedentemente progettato utilizzando una stampante 3D a tecnologia FDM, soffermandoci su alcuni aspetti tecnici e consigli per ottenere un risultato migliore.

Occorre innanzitutto salvare il modello (SALVA CON NOME) in formato neutro .stl, ponendo particolare attenzione alle opzioni di configurazione. Queste sono sempre in pollici, con una precisione bassa di circa 0,1; dobbiamo quindi convertirle in mm e fissare una risoluzione di almeno 0,001 (Fig. 29).

Sono disponibili diversi programmi open source che trasformano il formato neutro .stl in un G-code (programma fondamentale che istruisce la stampante 3D su come muoversi). Per il

nostro progetto utilizziamo Cura (scaricabile gratuitamente da www.ultimaker.com), un programma molto flessibile e configurabile per tutti i tipi di stampanti tipo desktop con tecnologia FDM. Dal comando IMPOSTAZIONI > STAMPANTI > GESTIONI STAMPANTI è possibile definire diversi parametri, come l'area di stampa e il diametro dell'estrusore (Fig. 30).

Figura 29

Parametri da selezionare e impostare nell'esportazione in formato .stl.

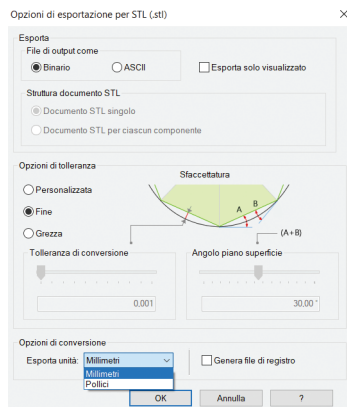
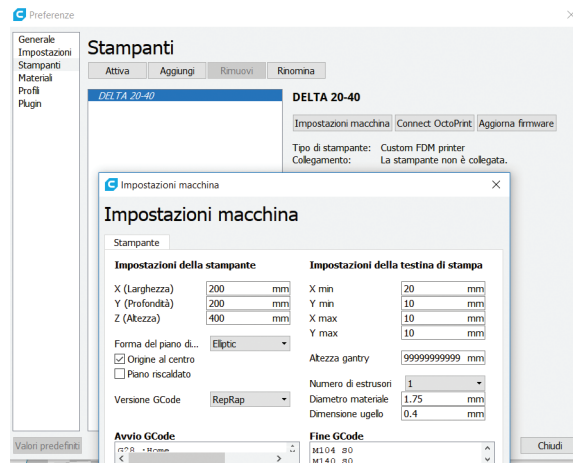


Figura 30

Parametri per la configurazione della stampante 3D.



Una volta configurata la stampante che si ha a disposizione (nel nostro caso, una stampante Delta Wasp 20-40 a cinematica parallela con un volume di stampa cilindrico $D=200$ mm e $H=400$ mm), è possibile caricare il file, il quale in automatico viene posizionato al centro del piatto di stampa. Se selezioniamo il modello con una serie di comandi attivabili, è possibile spostare, scalare in modo omogeneo o solo su alcune direzioni, oppure ruotare in tre direzioni; invece se si vogliono posizionare più oggetti occorre caricarli come file separati (Figg. 31 e 32).

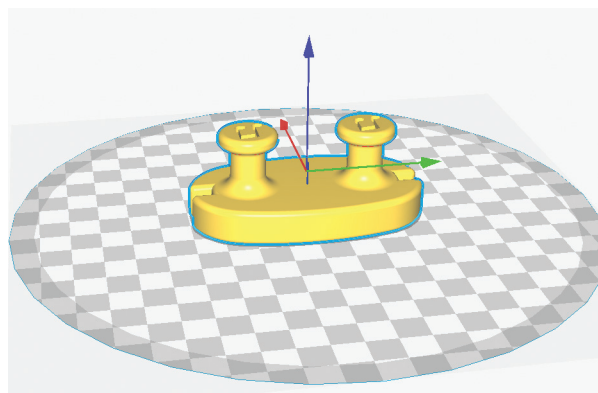
Figura 31

Comandi per modificare la posizione del modello sul piano di stampa.



Figura 32

Posizionamento del modello sul piano di stampa.



Gli altri parametri da controllare sono:

- quelli legati al materiale (ABS, PLA, nylon ecc.), con relative temperature di estrusione;
- l'altezza dello strato;
- il diametro del filo da estrudere;
- la densità di riempimento;
- la velocità;
- la temperatura del piatto;
- le modalità di formazione del supporto;
- l'adesione al piano di stampa;
- la temperatura di raffreddamento della ventola estrusore.

Con il programma Cura è possibile avere una libreria di materiali da estrarre con i *default* di tutti i parametri già stabiliti. Questi parametri possono cambiare in funzione di esigenze specifiche, in quanto le classiche problematiche di queste stampanti sono il distacco del modello dal piano di stampa, la determinazione della densità più appropriata e la fluidità del materiale da estrarre, soggetta a variazioni a seconda dell'umidità ambientale.

Materiale	PLA
Altezza strato (<i>licer</i>)	0,2 mm
Spessore delle pareti	0,8 mm
Spessore pareti sup. e inf.	0,8 mm
Densità di riempimento	20%
Fasi di riempimento graduale	0
Temperatura di stampa	205 °C
Temperatura piatto di stampa	50 °C
Diametro filo estrusore	1,75 mm
Flusso	100%
Abilitazione retrazione	Si
Velocità di stampa	60 mm/s
Velocità spostamenti	120 mm/s
Velocità raffreddamento ventola	100%
Generazione supporto	Si
Posizionamento supporto	Contatto con piano di stampa
Tipo di adesione piano di stampa	Nessuno
Sequenza di stampa	Tutti contemp.

Nota bene

In IMPOSTAZIONI > CONFIGURAZIONI di Cura è possibile selezionare diverse opzioni di tipo avanzato che permettono una scelta dei parametri più dettagliata e sofisticata.

Per migliorare la qualità generalmente si tengono dei parametri bassi dell'altezza strato, per esempio 0,1 mm (oppure 0,05 mm), anche se questo allunga i tempi di stampa. È opportuno evitare di realizzare modelli ad alta densità, se non nei casi di piccole dimensioni, in quanto le deformazioni termiche alterano le dimensioni, mentre conviene eventualmente aumentare lo spessore delle pareti se si vuole una maggiore rigidità.

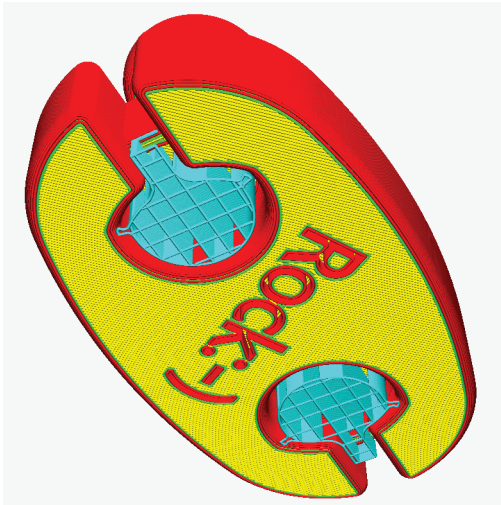
Se i modelli sono alti e con superfici di appoggio modeste conviene utilizzare i parametri di adesione al piano di stampa (BRIM e RAFT) per allargare l'area e infittirla quanto si vuole. Il problema di distacco/adesione al piatto non sempre si risolve con la temperatura (dai 40 ai 50 °C); molte volte si usano dei collanti speciali o semplicemente si spruzza della lacca. Inoltre, è necessario ricordarsi di fare con una certa frequenza la pulizia del piatto di stampa con uno sgrassante e risciacquandolo con acqua calda.

Il posizionamento del modello sul piano di stampa in funzione della creazione di vuoti e sbalzi (sottosquadri) e il loro sostentamento con l'inserimento di materiale di supporto è un problema molto sentito quando il supporto viene generato dal medesimo materiale e deve essere distaccato meccanicamente (e non è solubile). In questi casi, è necessario ricorrere a dei trattamenti di levigatura o verniciatura non comodi, a volte con risultati insoddisfacenti. Per questo motivo, mettiamo a confronto tre diverse soluzioni del posizionamento sul piano di stampa.

La prima soluzione è quella riportata in **Figura 32** a pagina 351: consiste nell'appoggiare il modello sul piano inferiore dell'ovale in cui solo la scritta Rock:-) e le cavità della sede per gli auricolari si troveranno in condizioni di sottosquadro. In **Figura 33** si vede dove si deposita il materiale di supporto (la zona colorata in azzurro). Cura inoltre fornisce il volume della camera di stampa, il tempo di realizzazione e il consumo di materiale in metri e in grammi (**Fig. 34**).

Figura 33

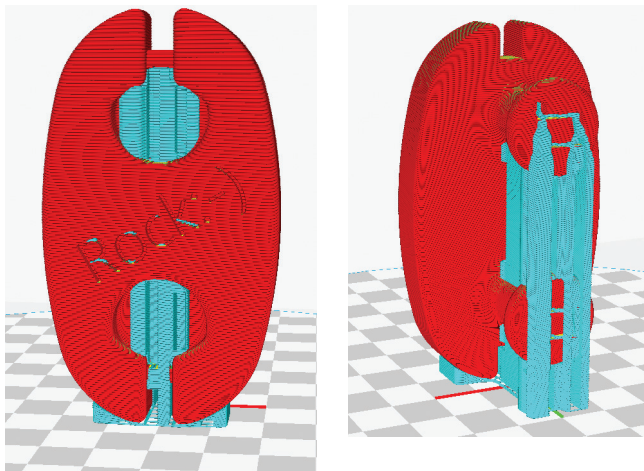
Risultato del processamento del modello in layer.

**Figura 34**

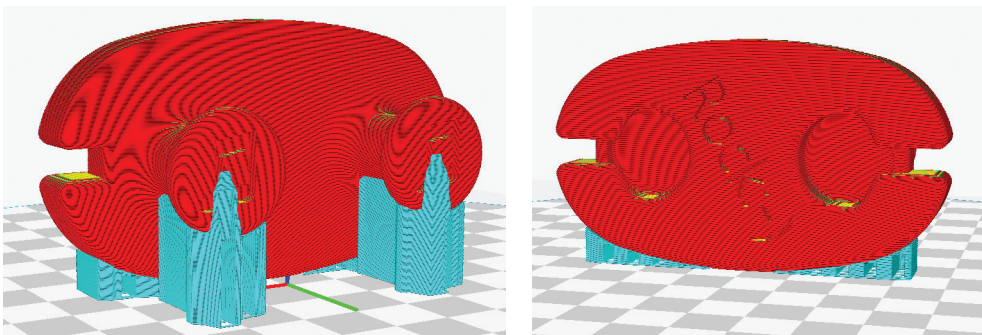
Volume, tempi di stampa e consumo di materiale.



Le altre soluzioni proposte sono posizionare il modello verticalmente (**Fig. 35**) oppure posizionarlo lateralmente (**Fig. 36**). Come si può notare, la disposizione del supporto cambia radicalmente: questo determina dei risultati di finitura migliori nelle superfici dove non c'è supporto.

**Figura 35**

Disposizione del supporto nella posizione verticale.

**Figura 36**

Disposizione del supporto nella posizione laterale.

Per esportare il file occorre creare il G-code; con l'icona SALVA SU FILE, o semplicemente SALVA CON NOME dal menu principale, è possibile trasferirlo alla stampante tramite chiavetta, SIM o cavo di rete. Una volta selezionato il file, dal pannello di comando della stampante si passa alla fase di stampa.

Nota bene

Il G-code è un programma con un linguaggio macchina tipo ISO che descrive il percorso utensile (in questo caso percorso dell'estrusore), controllando anche la temperatura dell'estrusore, il piatto, le ventole di raffreddamento e altri accessori. Se si conoscono gli strumenti è facilmente modificabile, ma si consiglia eventualmente di salvarlo una seconda volta se si cambiano i parametri in Cura (**Fig. 37**).

```
;FLAVOR:RepRap
;TIME:4294
;Filament used: 6.82783m
;Layer height: 0.3
;Generated with Cura_SteamEngine
M104 S200
M109 S200
G28 ;Home
G1 Z15.0 F6000 ;Move the platform
;Prime the extruder
G92 E0
G1 F200 E3
G92 E0
;LAYER_COUNT:263
;LAYER:0
M107
G0 F3600 X-3.796 Y0.303 Z0.3
;TYPE:SUPPORT
G1 F1800 X-4.359 Y-.983 E0.07004
G1 X-3.95 Y-1.324 E0.0966
```

Figura 37

Esempio dell'interfaccia di G-code.

Ricordiamo che nella fase di stampa occorre controllare che la quantità di filo sia sufficiente, che la dimensione del diametro del filo sia effettivamente 1,75 mm, che il piatto non sia sporco da residui di stampe precedenti ed eventualmente utilizzare colle specifiche o lacche per una migliore adesione (**Figg. 38 e 39**).

Figura 38

Pannello di comando della stampante 3D.

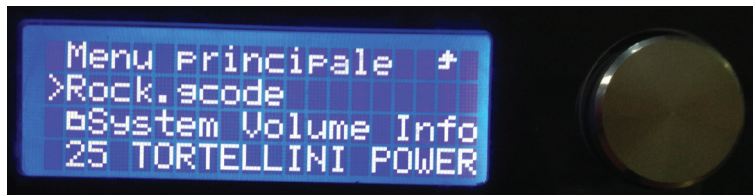
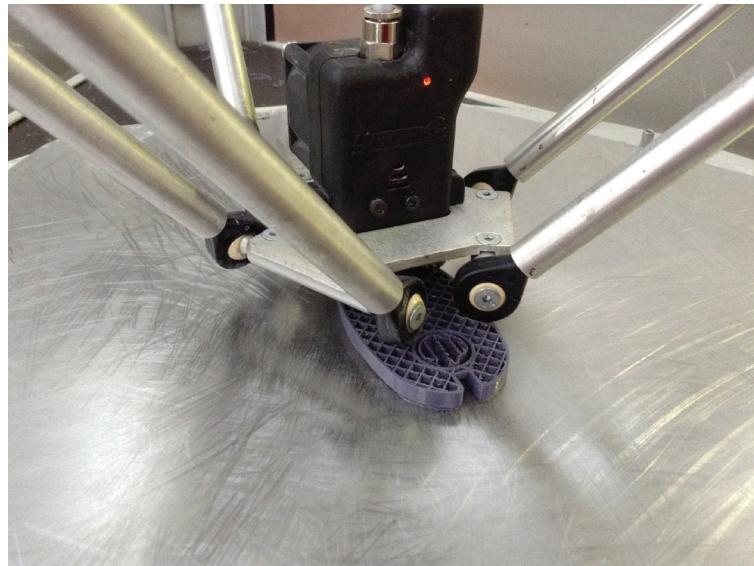


Figura 39

Fasi di stampa 3D del modello Rock:-).

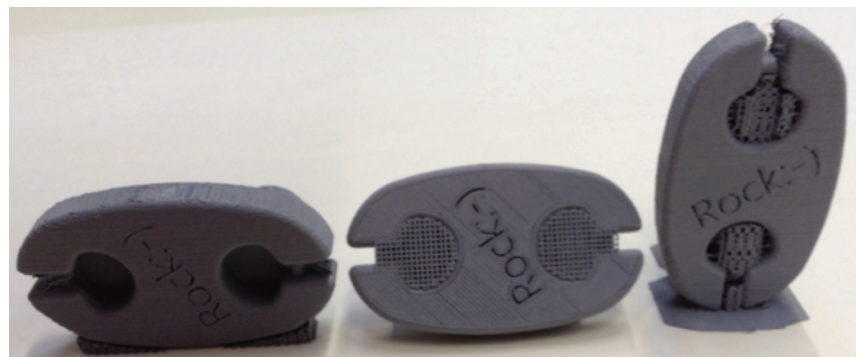


Attraverso i risultati di stampa reali possiamo trarre le seguenti conclusioni:

- se la priorità è avere le scritte e la cavità dell'auricolare esenti da deposito di supporto, la soluzione consigliata è posizionare il modello lateralmente, come nel primo modello in **Figura 40**;

Figura 40

Differenti depositi di supporto a seconda della posizione di stampa.



- se è richiesto un tempo di stampa più rapido e una superficie superiore ben levigata, la soluzione consigliata è posizionare il modello orizzontalmente, come nel secondo modello in **Figura 41**.



Figura 41

Grado di finitura a seconda della posizione di stampa.

L'unico inconveniente della posizione orizzontale è il riempimento di supporto delle cavità dove andranno messi gli auricolari. Per le stampanti a doppio estrusore, dove è possibile utilizzare materiali di supporto solubili, questo problema è trascurabile e quindi la soluzione del piano di stampa va ricercata solo in funzione dei tempi di stampa e della stabilità nella crescita del modello. Una volta ripuliti dal supporto, ed eventualmente verniciato e lucidato, andiamo a vedere il modello definitivo con l'inserimento degli auricolari (**Fig. 42**).



Figura 42

Risultato finale con inserimento degli auricolari.

2 Scansione del corpo auricolare: *reverse engineering*

Le tecniche attuali di *reverse engineering* sono molto diffuse e diversificate: per esempio, esistono sistemi professionali dedicati al campo industriale, architettonico, medico e ambientale, ma anche applicazioni per tablet e smartphone, scaricabili gratuitamente, che con una sequenza di foto a 360° riescono, tramite un portale remoto, a ricostruire il modello (**Fig. 43**). È una tecnologia che si abbina molto bene alle stampanti 3D in quanto con essa si genera lo stesso formato di modello importabile direttamente dalla stampante.



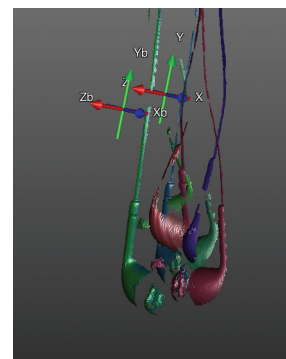
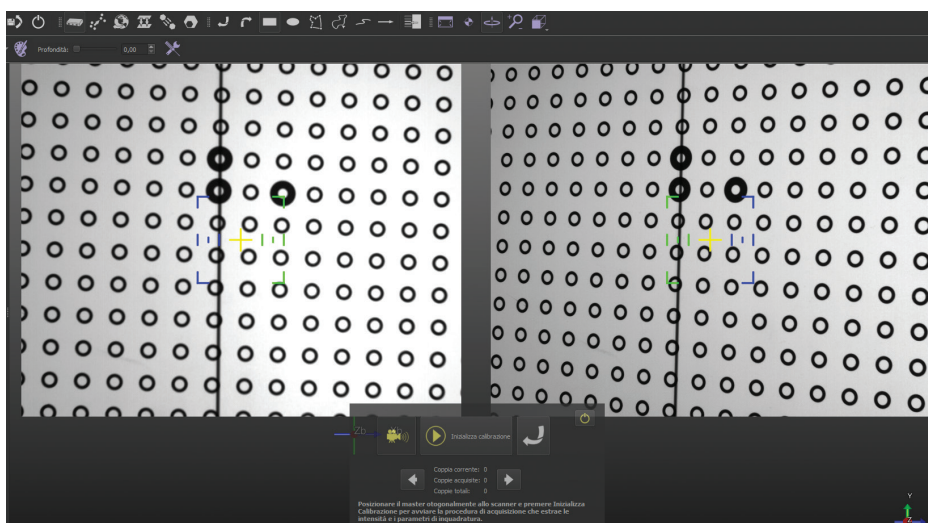
Figura 43

Scansione dell'oggetto con tecnologia a luce strutturata.

Nel nostro caso viene utilizzato uno scanner 3D modello Scan in a Box® a luce strutturata e software di acquisizione IDEA®. Posizionando l'oggetto su un piano rotante (o con una serie di posizionamenti manuali) e calibrando opportunamente in base alla distanza e alle dimensioni dell'oggetto, si passa all'acquisizione delle immagini. Il software, con un menu guidato, riesce a ricostruire il modello con la sovrapposizione e l'allineamento di tutte le inquadrature fino a ricoprire l'intera superficie, segnalando eventuali zone d'ombra (Fig. 44).

Figura 44

Acquisizione e calibrazione delle immagini.



Nota bene

La tecnologia della luce strutturata procede alla digitalizzazione in 3D dell'oggetto per singole acquisizioni (dette **immagini di profondità** o *range images*). Le immagini acquisite vengono trasformate dal software in un insieme di punti che definiscono in 3D la porzione dell'oggetto inquadrata e colpita dai *pattern* di luce generati dal proiettore.

In alcuni casi, quando le superfici risultano molto lucide o riflettenti, ci sono difficoltà nell'acquisizione perché la luce del proiettore viene riflessa. Problematiche simili sorgono con materiali trasparenti o traslucidi: la luce attraversa la superficie dell'oggetto e non consente la formazione dei *pattern*. Alcuni esempi di materiali sconsigliati sono le superfici a specchio, vetro e plastica trasparente, superfici lucide o metalliche. In questi casi, si consiglia di utilizzare delle vernici opache o polveri rimovibili per facilitare l'acquisizione.

Una volta raccolto un numero sufficiente di immagini di profondità, allineate in modo tale che la ricostruzione del modello 3D sia la più completa possibile, il passo successivo è quello di creare una *mesh*. La generazione di una *mesh* consente il passaggio da un dato formato da un insieme di punti (immagine di profondità) a un altro dato formato da un insieme di triangoli (*mesh*). La *mesh* è inoltre il primo dato utile per essere elaborato ed esportato nei vari formati disponibili.

Il processo di generazione *mesh* è automatico. Sono presenti quattro diversi profili, con caratteristiche di elaborazione dati diverse, in funzione del tipo di oggetto digitalizzato:

- oggetto tecnico: adatto per il mantenimento di un alto livello di dettaglio con una tolleranza di 0,035 mm. Il profilo prevede un massimo di 500 000 triangoli e, in caso di superamento, viene applicata una decimazione automatica con tolleranza di 0,010 mm. Prevede inoltre una lisciatura automatica e la chiusura di tutti i buchi più piccoli;
- oggetto di design: i parametri sono gli stessi usati nel profilo oggetto tecnico, con la differenza che viene applicata una lisciatura più marcata con una tolleranza più alta;
- piccolo oggetto artistico: il profilo prevede un dettaglio estremamente elevato con una tolleranza bassa di 0,010 mm. Viene applicata una lieve lisciatura e una chiusura automatica dei buchi più piccoli. Non è previsto un numero massimo di triangoli, quindi non viene applicata alcuna decimazione automatica, permettendo così di ottenere il più elevato dettaglio e precisione nella *mesh*;
- scultura: il profilo di generazione *mesh* di triangoli ha una tolleranza di 0,025 mm, quindi più bassa rispetto agli altri profili, ma sempre con un alto dettaglio. È prevista una leggera lisciatura e una chiusura dei buchi più piccoli. Non è prevista la decimazione della *mesh*.

Il software prevede tutta una serie di comandi per elaborare i processi di *mesh*, per cui rimandiamo al manuale specifico.

La nostra scelta è quella del piccolo oggetto artistico: creiamo la *mesh*, eliminiamo le parti accessorie e salviamo nel formato .stl. In **Figura 45** vediamo il risultato finale in condizione di essere successivamente importato in un ambiente puramente CAD 3D.

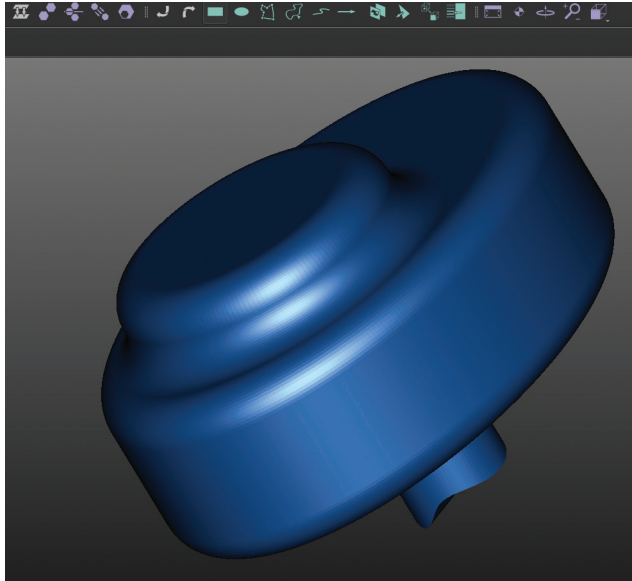


Figura 45

Risultato finale dell'elaborazione *mesh*.

2.1 Sottrazione tra i modelli solidi

Questa è la tappa finale del nostro progetto in cui ricreiamo la perfetta geometria del corpo auricolare appena copiato e solidificato con una tecnologia a luce strutturata. Questa operazione viene chiamata in matematica booleana **sottrazione**, mentre nel CAD 3D viene chiamata **sottrazione tra solidi**.

Occorre quindi sopprimere le cavità realizzate precedentemente: dobbiamo selezionarle e spuntare il comando **SOPPRIMI** utilizzando il tasto destro. Successivamente, bisogna definire i riferimenti per posizionare il modello generato all'interno del porta auricolare in modo da inserirli esattamente nella posizione voluta.


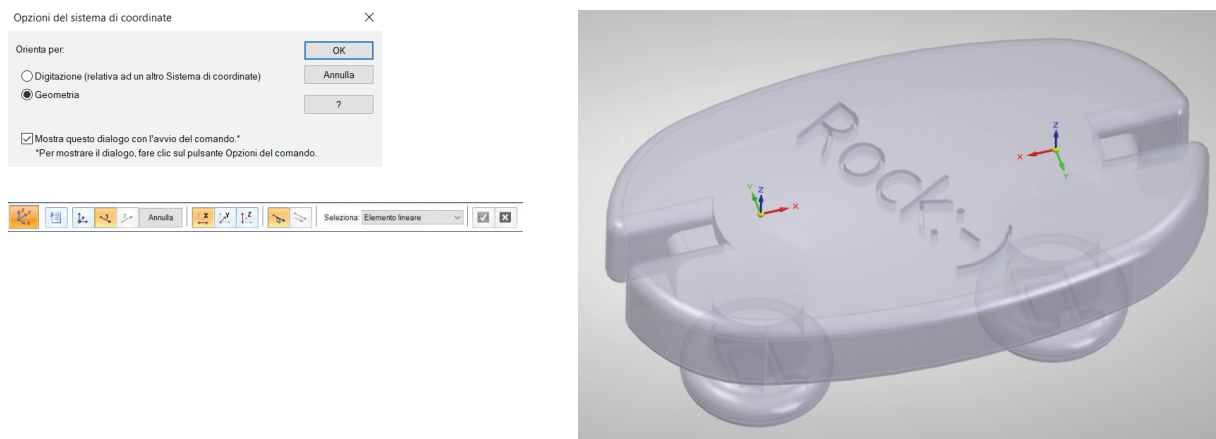

Il software Solid Edge permette di aggiungere delle terne di riferimento al centro delle cavità che vogliamo realizzare, ossia in corrispondenza del centro del raccordo. Con il comando **SISTEMI DI COORDINATE** () selezioniamo la geometria e la posizioniamo nel punto desiderato. Infine, occorre definire l'orientamento della terna selezionando gli spigoli del modello in modo da poterlo orientare (**Fig. 46**).

Figura 46

Inserimento del sistema di coordinate per posizionare i corpi auricolari.



Con il comando **COPIA DI PARTE** () inseriamo il file desiderato nel formato che il CAD permette di importare (nel nostro caso .jt, oppure in altri CAD come .stl). Occorre aumentare la scala in modo da assicurare un accoppiamento senza interferenze (consigliamo una scala 1:1

uniforme sui tre assi) e deselegionare COLLEGA AL FILE, per evitare aggiornamenti dimensionali del modello). Successivamente, selezioniamo COPIA COME CORPO DI PROGETTO, ricordando di deselegionare UNISCI CORPI SOLIDI. Infine, nel menu SISTEMA DI COORDINATE selezioniamo la voce SISTEMACOORDINATA_2 (Fig. 47).

Con APPLICA e OK osserviamo che è stata inserita la scansione del modello nel punto del sistema di coordinate orientato nel modo corretto. La stessa operazione viene fatta per l'inserimento nel secondo punto di riferimento; è necessario quindi ricordarsi di selezionare nel SISTEMA DI COORDINATE la voce SISTEMACOORDINATA_3.

Ora con il modello base e i due corpi inseriti nell'esatta posizione, selezioniamo il corpo principale e sottraiamo utilizzando il comando booleano SOTTRAI (da *Sottra*). Confermiamo con la spunta verde per poi selezionare i corpi da sottrarre. Otteniamo così il risultato voluto del modello con le due cavità a perfetta geometria (Fig. 48).

Figura 47

Parametri da selezionare per importare la scansione del modello.

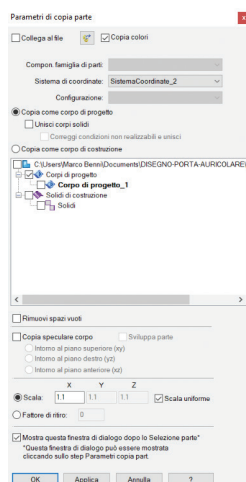


Figura 48

Risultato della sottrazione di solidi e il modello definitivo con le cavità a geometria esatta dei corpi auricolari.

