

Realizzazione delle Tavole Cromatiche 3D RGB Pseudo-Braille

[Guglielmo Maria Gioele Chiavistelli](#)

ISSN 1127-4883 BTA - Bollettino Telematico dell'Arte, 17 Novembre 2018, n. 857

<http://www.bta.it/txt/a0/08/bta00857.html>

CONTRIBUTO AL PROGETTO FILANTROPICO DI CLASSE "OPEN" CAROQUIMUS9 DEDICATO ALLA MEMORIA DEL PROF. CORRADO MALTESE

GRUPPO DI RICERCA ATTIVATO IL 14 GIUGNO 2016 PRESSO
L'INSEGNAMENTO DI MUSEOLOGIA E CRITICA ARTISTICA E DEL RESTAURO
DEL PROF. STEFANO COLONNA PH.D.
SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA, FACOLTÀ DI LETTERE E FILOSOFIA,
GIÀ DIPARTIMENTO DI STORIA DELL'ARTE E SPETTACOLO,
OGGI DIPARTIMENTO SARAS
STORIA, ANTROPOLOGIA, RELIGIONI, ARTE E SPETTACOLO.

«Scegliere un dipinto di un museo e analizzarlo in RGB (red, green, blue), i tre colori che compongono l'immagine televisiva per intenderci. Poi creare un istogramma tridimensionale per ogni componente, quindi con i valori esportati creare con una stampante 3D tre piccole tavolette di 10 o 12 pollici che rechino in sovrapposizione tipo braille la quantità di colore/luce presente nel dipinto, ovviamente diversa per ogni colore preso in esame. Il cieco, passando le dita sulle tavolette, dovrebbe avere una percezione della presenza e diffusione di ognuno dei tre colori. Le tavolette potrebbero essere utilizzate anche dai vedenti in camera buia con un'esperienza tipo "cena al buio".» [1](#)

Il Prof. Andrea Chiariello, Ricercatore in Elettrotecnica presso la Seconda Università di Napoli, dietro richiesta del Prof. Stefano Colonna nel gruppo aperto Facebook di Architettura Liquida espressa in data 27/11/2018 ha cortesemente fornito nello stesso gruppo in data 28/11/2018 [2](#) il codice GNU Octave [3](#) per l'analisi numerica con cui Stefano Colonna (con una piccola modifica non pubblicata [4](#)) ha realizzato la scomposizione RGB del Sogno del Cavaliere, dipinto ad olio su tavola di Raffaello Sanzio, databile 1503-1504 presentata al pubblico in data 29 novembre 2016.

Con questo approccio matematico il Prof. Stefano Colonna, insieme ad Andrea Chiariello, sono giunti alla generazione di tre immagini distinte, ognuna delle quali rappresenta un cromatismo specifico.

La metodologia ivi proposta dal Dr. Guglielmo Maria Gioele Chiavistelli per l'ottenimento delle Tavole Cromatiche 3D RGB pseudo-braille prevede una scomposizione RGB che raggiunge il medesimo risultato, procedendo però all'inverso: da un criterio grafico-visivo si ottiene un risultato matematico-scientifico.

L'input visivo, infatti, tradotto in informazione binaria dall'elaboratore, viene processato mediante specifici algoritmi all'interno di software professionali che sono in grado di trasferirlo, sotto forma di rilievo, ad un oggetto tridimensionale.

I pixel, gli elementi grafici minimi che costituiscono l'immagine digitale, vengono perciò trasformati in una sorta di "istogramma tridimensionale" che fornisce le informazioni chiave per la generazione del modello 3D. Ecco dunque spiegata quest'inversione di rotta: si voleva partire dalla "materia digitale", volatile, impalpabile, per approdare a quella reale, tangibile.

In seguito ad una ricerca iconografica filtrata "per dimensioni" con il motore di ricerca Google (<http://www.google.it>), è stata rintracciata l'immagine digitale con la risoluzione ottimale (per ragioni che saranno evidenti) raffigurante il *Sogno del Cavaliere*.



Fig. 1
Sogno del Cavaliere, immagine digitale, metodo: Colore RGB (8 Bits/Channel), risoluzione 1040x1024 pixel.

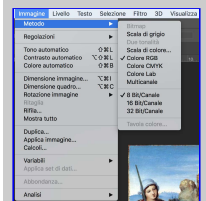


Fig. 2
Le informazioni sul metodo e sulla profondità colore vengono fornite dal software Adobe Photoshop.

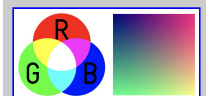
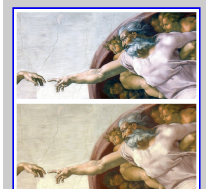


Fig. 3
Un'immagine ad 8-Bit può riprodurre fino a 16,8 milioni di colori, derivanti dalla mescolanza dei colori primari e dalle 256 tonalità per ogni singolo canale.



La scelta è ricaduta sull'immagine "bta02892.jpg" presente sul sito del BTA - Bollettino Telematico dell'Arte (1040x1024 pixel) [5](#) [FIGURA 01].

Apprendo l'immagine con il software Adobe Photoshop, si è verificato il metodo colore della stessa dal pannello richiamabile mediante il menu *Immagine > Metodo*.

Il metodo colore determina il numero dei canali di colore dell'immagine stessa.

Le specifiche dell'immagine processata sono le seguenti: formato *JPEG*, occupazione di spazio su disco di 276 KB e metodo *Colore RGB* [FIGURA 02].

La corrispondenza al metodo colore RGB presuppone il fatto che l'immagine contenga un canale per ogni colore principale che la compone (uno per il rosso, uno per il verde ed uno per il blu), oltre ad un altro canale composito che rappresenta l'immagine come la si vede nella sua integrità, con i tre canali congiunti; generalmente quest'ultimo viene utilizzato per effettuare modifiche sulla totalità dell'immagine, piuttosto che su di un singolo canale. Nel caso del metodo RGB, i canali sono immagini in scala di grigio all'interno delle quali sono contenute le informazioni relative alla quantità dei tre colori primari della luce (*Red, Green e Blue*) necessarie per formare tutti gli altri colori che costituiscono l'immagine; le informazioni numeriche sui "dosaggi" presenti in ciascuno dei tre canali, infatti, sommandosi le une alle altre, restituiscono l'immagine di partenza nella sua integrità cromatica [6](#).

Un'altra indicazione che si ricava richiamando il pannello del metodo dell'immagine è relativa alla profondità colore, in questo caso *8 Bit/Canale*. Quest'ultima informazione è desumibile anche partendo dalla sola estensione del file. Il formato *JPEG* infatti, essendo un formato compresso, contempla soltanto una profondità colore di 8 bit.

Ogni singola sfumatura di colore presente in un'immagine digitale RGB scaturisce dunque dalla combinazione dei tre colori/canali primari: rosso, verde e blu; la molteplicità dei colori possibili è offerta dalle variazioni di tonalità, saturazione e luminosità.

Disporre di una profondità colore di 8 bit per ogni canale significa che esistono 256 tonalità di rosso, 256 di verde e 256 di blu che, moltiplicate fra loro, producono fino ad un massimo di 16,8 milioni di colori. Il numero 256 scaturisce dal sistema binario che sta alla base dell'informatica, per cui un bit (*binary digit*), che può esprimere al massimo 2 valori ("0" oppure "1"), viene elevato all'ottava potenza ($2^8 = 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 256$) [7](#) [FIGURA 03].

La differenza sostanziale nel numero di bit (8, 16 o 32) che identifica la profondità colore di un'immagine, sta nella quantità di informazioni relative ai colori che sono alla base della composizione della stessa. Maggiore è la profondità colore, maggiori sono le informazioni che l'immagine porta con sé per ogni singolo canale di colore, maggiore, di conseguenza, è anche la possibilità che l'immagine digitale immagazzini una quantità di dati tale da poter essere definita cromaticamente più o meno "fedele" all'opera originale.

Si è volutamente fatto ricorso alle virgolette in quanto, ovviamente, la riproduzione digitale di una qualsiasi opera d'arte non potrà mai essere neppure lontanamente fedele all'originale; sono infatti molti i fattori che influenzano il processo di digitalizzazione di un'opera d'arte.

Un esempio su tutti è offerto dal cosiddetto "bilanciamento del bianco" che influenza la temperatura del colore, modificando, di fatto, sostanzialmente la percezione cromatica dell'opera mediata dalle strumentazioni digitali rispetto all'osservazione dal vivo della stessa [FIGURA 04].

Ci si potrebbe interrogare sulla natura stessa della percezione del colore e chiedersi se davvero sia legittimo ricercare una corrispondenza esatta tra una tonalità presente all'interno di un *range* (seppure molto grande) offerto da una gamma di colori sintetici digitali ed una porzione di tela o di affresco (seppure molto piccola), così come si potrebbero studiare approfonditamente le possibilità da parte di un software nel riproporre, più o meno attendibilmente, i cromatismi differenti che possono risiedere all'interno di una singola pennellata; quest'ultima, il più delle volte, reca al suo interno minuscoli grumi di colore scelti in precedenza dall'artista, molteplici tonalità che, rimaste intrappolate tra le setole del pennello, si sono sprigionate sul supporto materico che costituisce l'opera, originando un colore nuovo.

Queste sollecitazioni sulla percezione del colore e sul rapporto tra opera riprodotta digitalmente ed originale sono certamente da rimandare ad altre sedi più adatte e non rientrano direttamente in questo ambito. Vi si è comunque ricorso in quanto alla base di questo metodo, volto alla produzione delle tavolette pseudo-braille RGB, risiede una delle tante possibili riproduzioni informatiche di un'opera d'arte, con tutte le limitazioni del caso, alcune già

Fig. 4
Due immagini digitali trovate in rete riproducono lo stesso affresco di Michelangelo Buonarroti, *Creazione di Adamo*, databile 1511 circa. Le immagini sono state ritagliate ed accostate per favorire il confronto. Impossibile dire quale sia la più "fedele" all'affresco originale; infatti, a seconda della temperatura del colore impostata nella macchina fotografica digitale e ad altre variabili, come ad esempio l'orario in cui è stata scattata la fotografia, le tonalità mutano radicalmente. In questo caso, inoltre, l'immagine in basso è lievemente sfocata e meno definita rispetto a quella in alto che presenta anche contrasto e risoluzione maggiori.



Fig. 5
Nella porzione superiore è stato isolato un dettaglio che corrisponde ad un ingrandimento del 120% rispetto all'immagine originale. Nella porzione inferiore, invece, lo zoom digitale è del 500%. La differenza nella definizione della porzione di sinistra rispetto a quella di destra è evidente. I dettagli a sinistra sono stati prelevati dall'immagine di partenza che, come precedentemente accennato, possiede una risoluzione di 1040x1024 pixel, quelli sulla destra sono estratti dalla stessa immagine con risoluzione di 347x341 pixel (pari ad un terzo dell'immagine originale).

accennate, dovute ad esempio al medium digitale impiegato, piuttosto che alla risoluzione dell'immagine di partenza. Per concludere il quadro sommario fin qui delineato sull'immagine digitale, dal quale questa indagine prende le mosse, e per terminare un'introduzione pensata per fornire alcune informazioni basilari con l'intento di semplificare la comprensione della tematica in oggetto, occorre soffermarsi brevemente anche sul concetto di risoluzione [FIGURA 05].

L'immagine digitale, com'è noto, è fatta di pixel, le cellule dell'immagine, migliaia di elementi puntiformi che la delineano [8](#). Maggiore è il numero dei pixel, «l'unità minima gestibile dal computer sul monitor» [9](#), più è alta la quantità di informazioni disponibili.

Un'immagine con una risoluzione alta risulta ben definita e dettagliata, ciò significa che la qualità dell'immagine varia proporzionalmente rispetto alla quantità di pixel che la compongono. Un'elevata quantità di pixel presuppone il fatto che essi siano più piccoli e concentrati e quindi meno visibili ad occhio nudo. Una risoluzione migliore riduce anche la presenza di alcuni difetti propri dell'immagine digitale, quali *pixellizzazione* e *noising*, di cui si parlerà più avanti.

Tornando al procedimento realizzativo delle tavolette pseudo-braille RGB, occorre riferire che è stato scelto un approccio scientifico che prevede anche il coinvolgimento da parte di un operatore. Il metodo che sarà illustrato non può infatti considerarsi totalmente indipendente dall'utente che lo porta a compimento. Egli si avvale di software professionali con algoritmi molto potenti in grado di restituire informazioni complesse con la precisione e l'affidabilità proprie del calcolatore informatico, e, allo stesso tempo, partecipa al processo creativo in prima persona lasciando, in ogni caso, una traccia del suo operato sul prodotto finale. Egli, come si vedrà, perfeziona, riduce gli artefatti ed aggiusta le forme, smussandole e rendendole il più possibile omogenee, per offrire una loro migliore percezione al tatto, cercando sempre di garantire la corretta corrispondenza cromatica tra i rilievi prodotti ed i canali RGB dell'opera originale. L'operatore lavora cercando di raggiungere il miglior compromesso tra qualità, realizzabilità e fruibilità del prodotto finale. Egli deve limitare al minimo il suo intervento, esclusivamente laddove necessario, motivando sempre le sue azioni ogni qual volta si trovi costretto ad agire, specificando le modalità in cui impostazioni e parametri dei software utilizzati vengono modificati per il raggiungimento di determinati risultati.

L'idea alla base per la realizzazione di questo progetto deriva dall'esperienza dell'autore nel campo della computergrafica, in particolare dalla conoscenza di software [CAD 10](#), quali *Autodesk Maya*, che consentono all'utente di modellare oggetti tridimensionali all'interno di uno spazio interattivo (la *viewport*) e di seguire in tempo reale gli sviluppi dell'intero processo creativo di progettazione, modellazione, illuminazione e resa finale.

In particolare si è cercato di trasferire la logica che è alla base delle *bump maps* (mappe di rilievo) utilizzate all'interno dei software sopra citati per creare una sorta di bassorilievo tridimensionale a partire da un'immagine.

Una *bump map* crea una sensazione di profondità sulla superficie di un modello tridimensionale; non aggiunge ulteriore risoluzione ad esso, ma è in grado di trasmettere l'illusione del rilievo servendosi di un semplice trucco di illuminazione.

Le mappe di rilievo consentono di realizzare velocemente alcuni dettagli senza dover necessariamente ricorrere ai procedimenti propri della scultura digitale. Queste mappe sono particolarmente indicate per la creazione di dettagli molto piccoli sui modelli 3D (ad esempio pori o rughe della pelle). Generalmente le mappe di rilievo sono immagini *grayscale* (con metodo di colore *Scala di grigio*) con una profondità colore limitata ad 8 bit. In riferimento a quanto affermato in precedenza, si tratta di immagini che possono contare su un singolo canale e, di conseguenza, su un massimo di 256 differenti tonalità, in questo caso limitate esclusivamente ai colori nero, grigio e bianco. Questi valori tonali in una mappa di rilievo vengono impiegati per comunicare al software 3D due input fondamentali ed opposti: alto o basso.[FIGURA 06]

Quando i valori cromatici di una *bump map* si avvicinano al grigio, i dettagli che emergono sulla superficie sono minimi o inesistenti, se invece virano verso il bianco essi sembrano uscire fuori dalla superficie, mentre, se si fanno più scuri, avvicinandosi al nero, l'effetto ottico è quello dello sprofondamento della superficie, come se quest'ultima venisse spinta verso il basso [11](#). Queste mappe sono relativamente semplici da creare e modificare all'interno di un software di grafica 2D come ad esempio *Adobe Photoshop*.

Si è pensato di ricercare una soluzione simile a quella delle *bump maps* per trasferire su un oggetto tridimensionale un determinato dettaglio partendo da un'immagine in scala di grigi. Per cominciare è stato perciò necessario scomporre l'immagine digitale di partenza nei tre singoli canali RGB. Per tale scopo si è utilizzato ancora una volta *Photoshop*, che si è rivelato

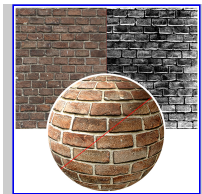


Fig. 6
In primo piano una sfera di mattoni creata con il software Autodesk Maya. La forma è stata divisa in due parti per rendere più evidente l'effetto ottenuto ricorrendo alle mappe di rilievo. La metà superiore è rivestita esclusivamente con la mappa del colore, mentre a quella inferiore, che presenta un maggior dettaglio ed evidenzia le porosità e le asperità di ogni singolo mattoncino, è stata aggiunta una *bump map*. Sul fondo sono state messe a confronto le due mappe, a sinistra la semplice mappa del colore, a destra la mappa di rilievo realizzata con il software Adobe Photoshop, ottenuta duplicando la prima, trasformandola in scala di grigio, virandola al negativo e modificando i livelli di chiaro/scuro.

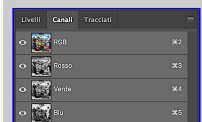


Fig. 7
La scheda *Canali* presente all'interno del software Adobe Photoshop.

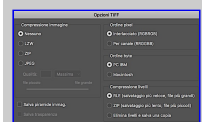


Fig. 8
Opzioni utilizzate per il salvataggio dei singoli file in *Scala di grigio* in formato *TIFF*.

lo strumento più funzionale per l'operazione; infatti, nella scheda dedicata ai Canali del programma sono già presenti le immagini in scala di grigio relative ai tre singoli canali RGB [12](#). [FIGURA 07]

Ogni canale è stato isolato e salvato separatamente. Le tre nuove immagini così ricavate sono state archiviate in formato TIFF non compresso; ciascuna occupa uno spazio su disco di 5,5 MB ed ha un metodo colore Scala di grigio e 8 Bit/Canale di profondità colore. [FIGURA 08] [FIGURA 09]

In ciascuna delle immagini ottenute, le tonalità di bianco, grigio e nero rappresentano le quantità di ognuno dei tre colori RGB che costituiscono l'immagine globale.

Ciascuna delle immagini in scala di grigio agisce come una sorta di "filtro" che lascia passare quantità diverse di luce/colore, che poi, addizionandosi alle altre, genera l'intera gamma delle variazioni cromatiche presenti nell'immagine [13](#). I valori cromatici dei file in *grayscale* vanno letti in questo modo: le aree più chiare sono quelle in cui il colore rappresentato è maggiormente presente, al contrario, più ci si sposta verso il nero e minore è la quantità di colore impiegato. Le zone grigie, che solitamente sono presenti in percentuale maggiore rispetto a quelle bianche e nere, lasciano filtrare più o meno colore in base ai livelli di chiaro/scuro della loro gradazione di grigio. Per semplificare si parla di aree e di zone, ma occorre tener presente che l'operazione avviene per ogni singolo pixel che compone l'immagine. A questo punto dovrebbe risultare ancor più chiaro quanto già accennato nell'introduzione: disponendo di una risoluzione alta e, quindi, di una quantità maggiore di pixel, sarà di conseguenza più precisa e completa anche la corrispondenza dei colori.

Al pari delle mappe di rilievo, le tre immagini in scala di grigio vengono utilizzate come una sorta di "calco", fungendo da istogrammi per la creazione dei bassorilievi.

Nel caso delle tavolette pseudo-braille RGB, però, non è sufficiente fornire una parvenza di rilievo, ma quest'ultimo deve risultare realmente impresso, memorizzato su un oggetto tridimensionale per essere poi affidato ad una stampante 3D e materialmente prodotto.

Sono state perciò indagate le modalità per la creazione di un bassorilievo tridimensionale a partire da un'immagine. È stata cercata una soluzione che fosse precisa e che, allo stesso tempo, restituisse un buon risultato senza dover ricorrere ad eccessivi interventi da parte dell'utente, garantendo un approccio più scientifico e rigoroso possibile.

In questa fase della Ricerca sono stati consultati molti siti internet e forum; tra i portali più interessanti si ricorda in particolare [3DRivilevi.it](#) [14](#), al cui interno si trovano numerosi consigli che derivano dall'esperienza diretta di centinaia di utenti; essi condividono quotidianamente sul sito le loro creazioni digitali e mantengono vivo il dibattito su quali siano le migliori soluzioni creative. Altrettanto imprescindibili per lo studio del software individuato e scelto per la realizzazione delle tavolette pseudo-braille, si sono rivelati i video dell'inventore australiano Roger Clyde Webb presenti sul suo canale *YouTube* [15](#).

Autodesk ArtCAM fa parte della categoria dei software *CAD/CAM* [16](#) sviluppati per consentire agli ingegneri di progettare e produrre prodotti. Nello specifico questo programma è noto perché accosta all'approccio artistico quello prettamente tecnico-matematico, tanto da renderlo uno degli strumenti più utilizzati da designer ed artisti per creare praticamente qualsiasi cosa possano immaginare. «*ArtCAM* è impiegato in una varietà di settori, dalla coniazione di gioielli e monete, alla progettazione e produzione di cornici architettoniche e facciate. Il tema comune in tutti questi settori è il desiderio di produrre forme artistiche intricate con dettagli incredibili che possono essere facilmente lavorati o stampati in 3D.» [17](#).

ArtCAM è un software complesso che consente moltissime operazioni per la creazione e la gestione di rilievi, nonché per la loro stampa in 3D, che può essere impostata e gestita anche restando all'interno dello stesso programma. In questo frangente ci si servirà esclusivamente di alcune funzioni basilari che consentono, come ci si è prefissato, di realizzare in pochi passaggi un rilievo a partire da un'immagine per poi ottimizzarlo.

Prima di utilizzare il software in questione, però, ci si è serviti ancora una volta di Photoshop per aggiungere alle tre immagini in scala di grigio create in precedenza una piccola cornice di colore nero, in modo che intorno al bassorilievo si generi una minima bordatura. La scelta del colore nero è data dal fatto che si vuole che il bordo resti sul fondo rispetto al rilievo. Per creare la cornice è stato eseguito il comando *Immagine > Dimensione quadro... > Nuova dimensione*; il quadro dell'immagine è stato espanso. Impostando quindi *Livello > Nuovo... > Livello* è stato creato un *layer*, spostato sul fondo e quindi riempito di colore nero mediante il menu *Modifica > Riempi... > Contenuto: Nero*.

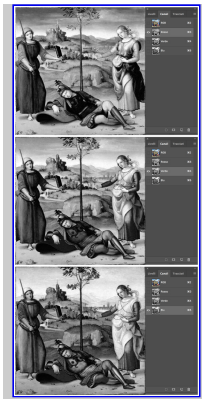


Fig. 9
Immagini grayscale ottenute isolando i singoli canali RGB e salvandoli in tre file separati: rosso, verde e blu.

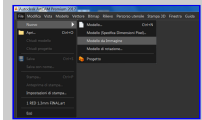


Fig. 10
ArtCAM consente la creazione di un modello tridimensionale a partire da un'immagine.



Fig. 11
Vengono impostate le dimensioni del progetto e l'altezza massima del rilievo.



Fig. 12
In alto: rilievo iniziale grezzo ottenuto in *ArtCAM*, vista frontale. In basso: dettaglio, vista prospettica.

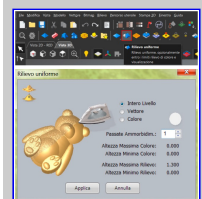


Fig. 13
Strumento Rilievo

Seguendo questo procedimento si evita una perdita di risoluzione e non si modificano le proporzioni dell'immagine di partenza, garantendone anche la perfetta quadratura.

La risoluzione di ogni singola immagine in scala di grigio generata in precedenza è passata dunque dai 1040x1024 pixel originali ai 1077x1077 pixel; in questo modo si rispettano anche proporzioni e dimensioni dell'opera originale di Raffaello (17x17 cm) che si è scelto di mantenere inalterate anche per le tavolette pseudo-braille RGB stampate in 3D.

Finalmente si è passati all'impiego del software *Autodesk ArtCAM*.

Una volta caricato il programma è stato impartito il comando *File > Nuovo > Modello da immagine*.

ArtCAM invita quindi l'utente a caricare l'immagine dalla quale partire per la generazione del rilievo. Per cominciare è stata selezionata l'immagine in scala di grigio che rappresenta l'incidenza del colore rosso. [FIGURA 10]

Dopo aver scelto l'immagine, si apre una nuova finestra in cui il software chiede all'utente di impostare le dimensioni del progetto. Definita l'unità di misura con la quale lavorare (millimetri anziché pollici), si è optato per un'altezza ed una larghezza di 170 mm (per rispettare appunto le misure dell'opera originale) ed un'altezza dell'asse Z di 1,3 mm. Quest'ultimo parametro è fondamentale in quanto permette di impostare fin da subito l'altezza massima che si desidera conferire al rilievo. In questo caso, dovendo creare delle tavolette pseudo-braille, è stata presa una decisione in linea con gli standard delle mappe tattili braille, che contemplano un'altezza del rilievo da un minimo di 0.9 mm ad un massimo di 1,3 mm [18](#). [FIGURA 11]

In pochi secondi il software è in grado di generare un primo rilievo in base ai parametri inseriti, anche se il risultato iniziale è piuttosto grezzo; l'algoritmo preposto alla creazione del rilievo a partire da un'immagine funziona bene e l'immagine in scala di grigio consente al programma di tradurre in bassorilievo le informazioni relative, in questo caso, al canale rosso, in relazione alle variazioni di chiaro/scuro di ogni singolo pixel, proprio come previsto. Le differenze tra le altezze del bassorilievo, però, risultano eccessivamente nette e per nulla omogenee tra loro, generando una granulosità eccessiva. [FIGURA 12]

Per correggere il difetto esiste lo strumento *Rilievo uniforme*, selezionabile dall'apposito pulsante della barra dei menu, oppure attraverso l'opzione del menu *Rilievo > Modifica > Uniforme*. Questo tool «consente di uniformare le irregolarità della superficie su un livello rilievo in tempo reale.» [19](#). Successivamente si apre una nuova finestra in cui è possibile scegliere l'area del rilievo da uniformare. Si può agire sull'intero livello, selezionare un vettore all'interno del quale svolgere l'operazione, oppure uniformare un'area della superficie definita da un colore. In questo caso, essendo necessario operare sulla totalità del rilievo, è stata selezionata l'opzione *Intero Livello*. Per quanto riguarda le passate dell'ammorbidimento è stato lasciato invariato il valore "1" di default per avere sotto controllo i singoli passaggi. [FIGURA 13]

Subito dopo il primo passaggio di ammorbidimento i miglioramenti sono evidenti, anche questo algoritmo svolge con precisione il proprio dovere. Malgrado la situazione sia migliorata sensibilmente, si evincono ancora alcuni difetti, dovuti più che altro a disturbi e imperfezioni dell'immagine digitale di partenza, come ad esempio la *pixellizzazione* ed il *noising*, già citati nell'introduzione. Il disturbo arrecato all'immagine è simile.

Nello specifico: la *pixellizzazione* è «[...] una sgranatura più o meno pronunciata nei contorni delle figure», mentre il *noising* (o *rumore video*) «[...] è un'errata informazione dell'immagine che si presenta sotto forma di sgranatura o sfrigolio. A differenza della *pixellizzazione* può estendersi ad intere porzioni (dell'immagine, ndr) [...]» [21](#). Questo difetto può essere «[...] provocato da una forte compressione dei dati [...]» [22](#). [FIGURA 14]

Vista la finalità della Ricerca, ovvero la stampa 3D delle tavolette pseudo-braille che verranno testate da alcuni soggetti portatori di handicap e non, l'aspetto tattile risulta sostanziale; sarebbe stato impossibile fermarsi qui, lasciando evidenti difetti sul modello. È stato quindi eseguito un altro passaggio con lo strumento *Rilievo uniforme*.

A questo punto il difetto è stato attenuato almeno dell'80%; si è provato comunque ad effettuare un ulteriore passaggio di ammorbidimento, ma i contorni delle figure stavano cominciando a modificarsi, abbassandosi eccessivamente ed alcuni dettagli importanti cominciavano a scomparire. Il comando è stato quindi annullato e ci si è fermati a tre passaggi con lo strumento *Rilievo uniforme*. [FIGURA 15] [FIGURA 16]

uniforme e relative impostazioni.



Fig. 14
Viene proposto un confronto tra un dettaglio dell'immagine originale ingrandito del 420% ed il suo corrispettivo nel rilievo relativo al canale rosso appena ottenuto, reso più omogeneo dopo un passaggio del tool *Rilievo uniforme*. Una porzione di cielo è stata ulteriormente ingrandita per rendere ancor più chiara la corrispondenza tra i difetti dell'immagine digitale e quelli riscontrati sul rilievo. Sono stati evidenziati i disturbi di *pixellizzazione* e *noising* che affliggono sia l'immagine originale sia il bassorilievo.

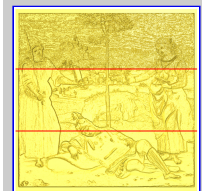


Fig. 15
La tavoletta è stata divisa in tre porzioni, dall'alto verso il basso, una per ogni passaggio eseguito con il tool *Rilievo uniforme*. Vi è una progressiva riduzione dei disturbi inizialmente riscontrati.

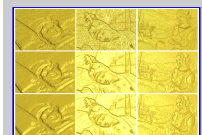
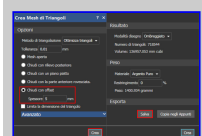


Fig. 16
Dall'alto verso il basso: alcuni dettagli mostrano i miglioramenti gradualmente ottenuti sul bassorilievo.



Come già affermato, il presente metodo, per quanto automatizzato e dipendente dagli algoritmi di ArtCAM, prevede comunque la mediazione da parte di un operatore, soprattutto in questa fase, forse la più delicata, in cui occorre stabilire il momento in cui il livello di dettaglio raggiunto dal bassorilievo corrisponde alle esigenze del ricercatore.

Bisogna sapere a che punto arrestare i miglioramenti, prima che questi ultimi si tramutino in peggioramenti, modificando eccessivamente le forme e compromettendo, di fatto, l'intera operazione che ci si è prefissata: raggiungere una corrispondenza attendibile, per ogni colore preso in esame, tra quantità di colore/luce presente nel dipinto e rilievo.

È per questo che si è scelto di ridurre al minimo l'intervento dell'utente, ricorrendo soltanto a strumenti controllati dagli algoritmi dell'elaboratore, piuttosto che adoperarne degli altri che, seppure molto efficaci, avrebbero potuto contravvenire ai principi della Ricerca, implicando componenti spiccatamente soggettive tra cui, ad esempio, la manualità dell'operatore.

A questo punto è stato necessario creare a tutti gli effetti il modello tridimensionale (detto anche *mesh*). Le operazioni svolte fin qui, infatti, sono solo anteprime del risultato finale, passaggi che da soli non generano alcun modello 3D.

Quest'ultimo viene creato con lo strumento *Crea Mesh di Triangoli*, selezionabile dall'apposito pulsante nella barra dei menu, oppure attraverso l'opzione del menu *Rilievo > Esporta > Crea Mesh di Triangoli*.

Si ricorre a questo *tool* per realizzare l'oggetto tridimensionale destinato alla stampa 3D; quest'ultimo «[...] è composto da una serie di sfaccettature triangolari che rappresentano una forma 3D chiusa. Ogni sfaccettatura è caratterizzata dalle coordinate X,Y,Z e da un orientamento.» [23](#).

Il fatto che la *mesh* sia chiusa è fondamentale, in caso contrario non sarebbe possibile stamparla in 3D. Selezionato lo strumento, una nuova scheda compare sullo schermo.

Per questioni di praticità, non vengono prese in considerazione tutte le opzioni disponibili per la creazione e l'esportazione di modelli 3D in ArtCAM, ma soltanto quelle utilizzate in questo frangente.

Per renderle più resistenti, si è scelto di dare alle tavolette uno spessore aggiuntivo che non inficia con quello del rilievo, a sé stante. Al fine di aggiungere la profondità desiderata è stata selezionata l'opzione *Chiudi con offset* ed il campo *Spessore* è stato riempito con la misura di 5 mm. Quando si clicca sul pulsante *Crea*, il programma comincia a calcolare la geometria dell'oggetto; al termine del processo, si forma il 3D effettivo che prende il posto dell'anteprima con la quale si è lavorato fino a quel momento. Compaiono anche altre informazioni sull'oggetto appena realizzato, ma, soprattutto, nella nuova sezione *Esporta* appare il pulsante *Salva*. Cliccando su quest'ultimo si ha la possibilità di memorizzare l'oggetto 3D in un file. Tra i formati a disposizione ci sono *STL* ed *OBJ*, entrambi accettati dalle stampanti 3D, anche se il primo è nato esclusivamente per questa destinazione. [FIGURA 17]

La tavoletta è stata dunque salvata in formato *STL*; il file occupa uno spazio su disco di 78,4 MB. Purtroppo la faccia sottostante presenta delle irregolarità che sono emerse ad ogni tentativo di superare il problema, tanto da far pensare ad un bug del programma.

Per sistemare la *mesh* si è deciso di aprire il file appena creato con *Autodesk Maya* e di rimpiazzare il fondale difettato con uno nuovo. Sono state cancellate le facce compromesse e ricreato il retro mediante l'estrusione interna del perimetro rimasto forato. Il file corretto è stato esportato momentaneamente in formato *OBJ* vista l'impossibilità di salvare in *STL*. [FIGURA 18] [FIGURA 19]

Si giunge dunque all'ultimo passaggio prima della stampa 3D: l'ottimizzazione e la pulizia del modello. Con questo obiettivo ci si è serviti del software *MeshLab*.

Caricato il programma ed aperto il file esportato da Maya, in basso compare subito un'informazione interessante, relativa al numero dei vertici e delle facce del modello. [FIGURA 20]

Si procede al controllo e all'eventuale riparazione dei difetti della forma. Tutti gli strumenti che servono in questa fase sono richiamabili attraverso il menu *Filters > Cleaning and Repairing*. Vi sono molte operazioni possibili per pulire e riparare la *mesh*. Alcune delle principali sono: *Remove Duplicate Faces*, *Remove Duplicate Vertices*, *Remove Faces from Non-Manifold Edges*, *Remove Isolated Folded Faces by Edge Flip*, *Remove Unreferenced Vertices*, *Remove Zero Area Faces*. Non è necessario spiegare lo scopo di ognuno di questi

Fig. 17
Vengono impostati i valori per la creazione dell'oggetto tridimensionale che successivamente viene salvato.

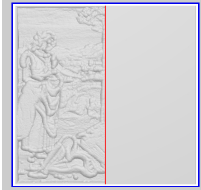


Fig. 18
Il retro della tavoletta difettato viene rimpiazzato da un nuovo fondale all'interno del software Autodesk Maya.

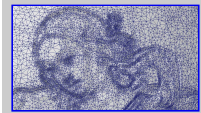


Fig. 19
Dettaglio dei triangoli che compongono la geometria del rilievo sulla tavoletta pseudo-braille.

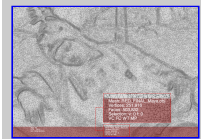


Fig. 20
Il software MeshLab che serve principalmente per controllare che non vi siano difetti nel modello prima di mandarlo in stampa, mostra anche il numero dei vertici e delle facce della *mesh*. In questo caso, la tavoletta pseudo-braille relativa al canale rosso è composta da 251.916 vertici e 503.832 facce.

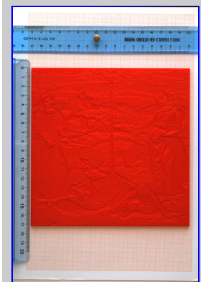


Fig. 21
Prototipo della Prima Tavoletta 3D RGB, canale RED, rosso,

comandi, ciò che conta è capire che essi controllano diversi aspetti della geometria e la riparano laddove necessario; si va dalla rimozione di facce o vertici in eccesso a quella di facce che non seguono la geometria che vi è in natura (e perciò vanno corrette perché altrimenti restituirebbero errori in fase di stampa) e così via. Sono stati eseguiti tutti questi controlli e ciascuno di essi ha restituito esito negativo, ad eccezione di *Remove Faces from Non-Manifold Edges* che ha evidenziato la presenza di quattro facce con geometria errata che sono state automaticamente corrette dal programma, così come segnalato all'interno del report delle attività che appare in una finestra in basso a destra. Il modello tridimensionale è stato quindi esportato in formato *STL* mediante il menu *File > Export Mesh As...* L'intero procedimento sinora esplicito è stato ripetuto per le altre due tavolette, per i canali verde e blu. I tre modelli sono finalmente pronti per essere stampati in 3D.

A questo è stato necessario affidarsi ai professionisti di *Aspramente Studio Srls.*, fondatori di *3DiTALY* [24](#), il primo *3D Printing Store* ad operare in Italia, «progetto indipendente di laboratorio pionieristico e sperimentale» [25](#) che offre molteplici servizi per la stampa 3D.

Si ringrazia in particolare il Sig. Carlo Mariella per aver offerto il suo personale supporto, oltre che competenza tecnica, alla presente Ricerca.

Si è scelto di stampare in 3D il prototipo della tavoletta cromatica pseudo-braille che rappresenta la presenza del canale rosso nell'opera.

Il materiale impiegato, denominato *PLA*, è il più diffuso per la prototipazione rapida, oltre ad essere ecocompatibile e totalmente compostabile una volta utilizzato, derivando da piante come mais, grano o barbabietola. La stampante, una *ULTIMAKER 3* [26](#), si serve di una tecnologia *FDM* (modellazione ad estrusione fusa).

La corrispondenza tra modello generato in computergrafica e stampa 3D è risultata soddisfacente, ma, dal momento che sono state riscontrate alcune lievi imperfezioni al tatto, si è deciso di procedere stampando lo stesso oggetto con materiale e tecnologia superiori.

A tale scopo si è ricorso ad una *FORM 2*, stampante che, sfruttando la tecnologia *SLA* (stereolitografia) è in grado, grazie all'impiego di una luce laser, di solidificare la resina liquida in strati finissimi. La tecnologia *SLA* rappresenta, al momento, la massima espressione della stampa 3D, con una qualità paragonabile a quella delle stampanti industriali [27](#). Il risultato è sembrato ancor più fedele al modello tridimensionale creato al computer, piacevole al tatto e perfettamente liscio nelle zone piane.

Un ulteriore differenza rispetto al prototipo in materiale *PLA* è riscontrabile nelle dimensioni dell'oggetto stampato. La stampante *FORM 2*, infatti, arriva ad un massimo di superficie stampabile di 14,5 cm x 14,5 cm. È stato dunque necessario ridurre leggermente le dimensioni della tavoletta per stamparla in resina. Inoltre, mentre il prototipo è stato stampato con un filamento di colore rosso, così da garantire ai vedenti una corrispondenza immediata tra tavoletta e bassorilievo corrispondente, la tavoletta in resina è stata stampata in grigio, dal momento che questo tipo di materiale attualmente non prevede i colori.

Questi primi risultati sono stati presentati in anteprima agli studenti il giorno 7 marzo 2018 durante l'Insegnamento di Museologia e Critica Artistica e del Restauro del Prof. Stefano Colonna. Gli studenti, ai quali è stata offerta un'esperienza tattile, hanno avuto modo di verificare in prima persona come dalla prototipazione si sia arrivati ad un oggetto levigato, liscio e iper-dettagliato, requisito indispensabile della presente Ricerca, dal momento che le tavolette dovranno essere sottoposte a soggetti non vedenti. [FIGURA 21] [FIGURA 22] [FIGURA 23][FIGURA 24] [FIGURA 25] [FIGURA 26]

CONCLUSIONI E POSSIBILI SVILUPPI DELLA RICERCA

I risultati raggiunti partendo da una riproduzione digitale di un'opera d'arte, un'immagine compressa in formato *JPEG*, con una profondità colore di 8 bit per canale e con una risoluzione accettabile, ma decisamente non elevata, sono comunque soddisfacenti e lasciano aperte ulteriori sperimentazioni e migliorie nel campo della realizzazione in 3D delle tavolette pseudo-braille RGB.

Data la natura sistematica alla base del metodo esposto, strettamente legata alla qualità dell'immagine digitale presa come modello per effettuare i rilievi, si può facilmente desumere che, partendo da un file ad una risoluzione molto elevata e garantendo dunque una quantità di pixel più alta rispetto a quella a disposizione in questo caso, anche il rilievo ne risulterebbe ottimizzato. Verrebbe anche ridotta in modo significativo la presenza degli artefatti dell'immagine digitale e, di conseguenza, la necessità degli interventi migliorativi da parte dell'operatore.

Tavoletta con errori di stampa in PLA.

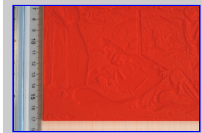


Fig. 22
Prototipo della Prima Tavoletta 3D RGB, canale RED, rosso, DETTAGLIO Tavoletta con errori di stampa in PLA.

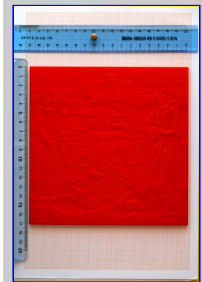


Fig. 23
Prototipo della Prima Tavoletta 3D RGB, canale RED, rosso, Tavoletta senza errori di stampa in PLA.



Fig. 24
Prototipo della Prima Tavoletta 3D RGB, canale RED, rosso, DETTAGLIO Tavoletta senza errori di stampa in PLA.

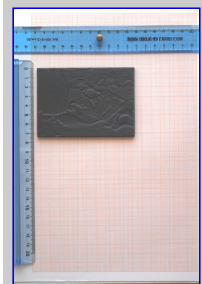


Fig. 25
Prototipo della Prima Tavoletta 3D RGB, canale RED, rosso, Tavoletta senza errori di stampa in RESINA, solo Cavaliere (prova di stampa).



Per ulteriori sperimentazioni e riflessioni riguardo la percezione tattile delle tavolette in 3D ottenute seguendo questa metodologia e per eventuali migliorie e sviluppi della presente Ricerca, si rimanda ad una sessione in cui sarà molto utile raccogliere impressioni e testimonianze da parte di soggetti non vedenti. Dopo aver sottoposto ad essi le tre tavolette, rappresentanti ciascuna un canale RGB, si chiederà loro di “toccare con mano” le differenze di colorazione che sono percepibili alla vista, attivando così una corrispondenza tra i due sensi. Effettuare poi la stessa esperienza anche con soggetti vedenti all'interno di una stanza immersa nell'oscurità, proponendo una sorta di “cena al buio”, rappresenterebbe un'ulteriore opportunità per i fruitori. Verrebbe offerta infatti una differente interazione con l'opera d'arte che potrebbe far emergere dettagli non altrimenti percepibili e permetterebbe anche di confrontare le differenti percezioni di soggetti vedenti e non nei confronti dell'opera stessa.

NOTE

1 Progetto *CaRoGuiMus9, Parte 1, Studi sulla percezione del colore, Prima Ricerca, Tavolette pseudo-braille cromatiche* <http://www.bta.it/riv/ric/caroguimus9/index.html> consultato in data 22/01/2018.

2 Stefano Colonna, richiesta formulata in data 27/11/2018 e conseguente risposta di Andrea Chiariello del 28/11/2018, gruppo Facebook di Architettura Liquida.

Si veda: <https://www.facebook.com/groups/architetturaliquida/permalink/938190169645048/>

[Stefano Colonna, 27/11/2018]:

«[ricerca software open linux] carissimi/e sto cercando un software open source che possa girare in ambiente GNU/Linux meglio ancora Debian che sia in grado di mappare i valori RGB (red, green, blu) di una foto digitalizzata praticamente un file tiff o jpg creando un istogramma tridimensionale ed esportandone i valori numerici in formato vettoriale. Il file vettoriale esportato dovrebbe essere codificato secondo uno standard universalmente riconosciuto in modo da poter essere processato con un altro software per altri scopi. Perdonate eventuale crossposting. Grazie»

[Andrea Chiariello, 28/11/2018]:

«Cari amici, questa la proposta con Octave:»

% carico l'immagine da elaborare

% I è una matrice Nx,Ny,3 nelle 3 dimensioni c'è la codifica R G B dell'immagine

```
I=imread('Renoirlow.jpg');
```

```
% la mostro a video
```

```
imshow(I)
```

```
% metto degli zeri nelle colonne 2 e 3, quindi sto togliendo il verde e il blu
```

```
% in Ired c'è solo il contenuto Red dell'immagine
```

```
Ired=I; Ired(:,2:3)=0;
```

```
imshow(Ired)
```

```
% metto degli zeri nelle colonne 1 e 3, quindi sto togliendo il rosso e il blu
```

```
% in Igreen c'è solo il contenuto Red dell'immagine
```

```
Igreen=I; Igreen(:,1)=0; Igreen(:,3)=0;
```

```
imshow(Igreen)
```

```
% metto degli zeri nelle colonne 1 e 2, quindi sto togliendo il rosso e il verde
```

```
% in Iblu c'è solo il contenuto Red dell'immagine
```

```
Iblu=I; Iblu(:,1:2)=0;
```

```
imshow(Iblu)
```

3 Software libero distribuito sotto licenza GPL (General Public License). Per maggiori informazioni si rimanda al link: <https://www.gnu.org/software/octave/> consultato in data 10/03/2018.

4 Codice GNU Octave fornito da Andrea CHIARIELLO in data 28/11/2016 e così modificato da Stefano COLONNA:

```
% carico l'immagine da elaborare
```

```
% I è una matrice Nx,Ny,3 nelle 3 dimensioni c'è la codifica R G B dell'immagine
```

Fig. 26
Prototipo della Prima
Tavoletta 3D RGB,
canale RED, rosso,
DETTAGLIO Tavoletta
senza errori di stampa
in RESINA, solo
Cavaliere (prova di
stampa).



Fig. 27
Prototipo della Prima
Tavoletta 3D RGB,
canale RED, rosso,
Tavoletta senza errori di
stampa in RESINA,
Tavoletta intera.



Fig. 28
Prototipo della Prima
Tavoletta 3D RGB,
canale RED, rosso,
Tavoletta senza errori di
stampa in RESINA,
Tavoletta intera,
dettaglio Alberello e
Figura femminile di
destra.

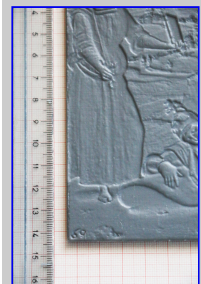
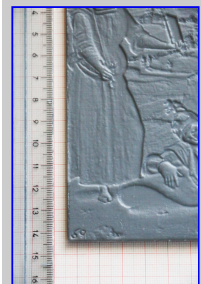


Fig. 29
Prototipo della Prima
Tavoletta 3D RGB,
canale RED, rosso,
Tavoletta senza errori di
stampa in RESINA,
Tavoletta intera,
dettaglio Figura
femminile di sinistra.




```
I=imread('/home/stecolumna/Immagine/Octave/immagini_prova/RAFFA-8bit.jpg');
```

```
% la mostro a video
imshow(I)
```

```
% metto degli zeri nelle colonne 2 e 3, quindi sto togliendo il verde e il blu
% in Ired c'è solo il contenuto Red dell'immagine
Ired=I; Ired(:,2:3)=0;
imshow(Ired)
```

```
% metto degli zeri nelle colonne 1 e 3, quindi sto togliendo il rosso e il blu
% in Igreen c'è solo il contenuto Red dell'immagine
```

```
Igreen=I; Igreen(:,1)=0; Igreen(:,3)=0;
imshow(Igreen)
```

```
% metto degli zeri nelle colonne 1 e 2, quindi sto togliendo il rosso e il verde
% in Iblu c'è solo il contenuto Red dell'immagine
```

```
Iblu=I; Iblu(:,1:2)=0;
imshow(Iblu)
```

⁵ Cfr.: <http://www.bta.it/img/a2/28/bta02892.jpg> consultato in data 25/01/2018.

⁶ Cfr.: <https://helpx.adobe.com/it/photoshop/using/channel-basics.html> consultato in data 03/02/2018.

⁷ Per ulteriori chiarimenti si rimanda al link: <https://www.photoshopessentials.com/essentials/16-bit/> consultato in data 03/02/2018.

⁸ Guglielmo M. G. Chiavistelli, *La scultura digitale*, BTA - Bollettino Telematico dell'Arte, 22/07/2017, n. 843. Si veda: <http://bta.it/txt/a0/08/bta00843.html> consultato in data 05/02/2018.

⁹ Mauro Minetti, *Risoluzione e qualità dell'immagine digitale*, Nikonschool.it <https://www.nikonschool.it/experience/risoluzione3.php> consultato in data 05/02/2018.

¹⁰ Acronimo che sta per “Computer-Aided Design”, ovvero “Progettazione Assistita dall’Elaboratore”.

¹¹ Per ulteriori chiarimenti si rimanda al link: <https://www.pluralsight.com/blog/film-games/bump-normal-and-displacement-maps> consultato in data 14/02/2018.

¹² *Photoshop* infatti riproduce milioni di colori, ma per farlo riconosce ed elabora soltanto canali *grayscale*.

¹³ Per ulteriori chiarimenti si rimanda al link: <https://www.photoshopessentials.com/essentials/rgb/> consultato in data 17/02/2018.

¹⁴ Il sito internet del portale *3DRilievi.it* è consultabile al link: <http://www.3drilievi.it/Forum/page/index.html>

¹⁵ Canale *YouTube* di Roger Webb: https://www.youtube.com/channel/UCVbRweyeFzc6j7_VYQjwxYQ consultato in data 20/12/2017.

¹⁶ All’acronimo *CAD* già spiegato in precedenza si aggiunge *CAM*: “Computer-Aided Manufacturing”, ovvero “Produzione Assistita dall’Elaboratore”.

¹⁷ Autodesk University, *ArtCAM - Software for Artists Rather Than Engineers*, traduzione dell’autore. <https://knowledge.autodesk.com/support/artcam/learn-explore/caas/auonline/content/au/global/en/au-online/classes-on-demand/class-catalog/classes/year-2015/artcam/mfg12193/jcr-content.html?v=2017> consultato in data 20/02/2018.

¹⁸ Per ulteriori chiarimenti si rimanda al link: http://www.percorsitattili.com/linee_guida_03c.htm consultato in data 24/02/2018.

¹⁹ Autodesk Help, *ArtCAM: Ammorbidimento di un rilievo* <https://knowledge.autodesk.com/it/support/artcam/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ITA/ARTC-WhatsNew/files/GUID-8B175067-1E11-4BE8-BB6E-B29B77C3BC74-htm.html> consultato in data 24/02/2018.

²⁰ Noemalab, *I difetti nella riproduzione dell'immagine* <http://org.noemalab.eu/sections/specials/tetcm/2002-03/dvd/difetti.html> consultato in data 22/02/2018.

²¹ *Ibidem*.

²² *Ibidem*.

²³ Autodesk Help, *Create Triangle Mesh*, traduzione dell’autore <https://knowledge.autodesk.com/support/artcam/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ENU/ARTC->

[ReferenceHelp/files/GUID-8A642523-E3D1-4D3A-9D0D-1646BCFD6074-htm.html](https://www.3ditalyshop.it/prodotto/stampanti-3d/ultimaker/ultimaker-3/) consultato in data 25/02/2018.

[24](https://www.3ditaly.it/chi-siamo/) Per maggiori informazioni si rimanda al link: <https://www.3ditaly.it/chi-siamo/> consultato in data 10/03/2018.

[25](#) Ibidem.

[26](https://www.3ditalyshop.it/prodotto/stampanti-3d/ultimaker/ultimaker-3/) Per maggiori sulla stampante *ULTIMAKER 3* si rimanda al link: <https://www.3ditalyshop.it/prodotto/stampanti-3d/ultimaker/ultimaker-3/> consultato in data 10/03/2018.

[27](https://www.3ditalyshop.it/prodotto/stampanti-3d/formlabs/formlabs-form-2/) L'eccezionale definizione di stampa raggiunta dalla stampante *FORM 2* la rende uno strumento perfetto per le aziende che operano nel design di gioielli, in campo biomedico, nell'ingegneria, nella robotica e nella meccanica, piuttosto che nel modellismo e nell'animazione. Per maggiori informazioni si rimanda al link: <https://www.3ditalyshop.it/prodotto/stampanti-3d/formlabs/formlabs-form-2/> consultato in data 10/03/2018.

SITOGRAFIA

3DiTALY

3DiTALY, sito internet, sezione "Chi siamo" < <https://www.3ditaly.it/chi-siamo/> >

Scheda tecnica *ULTIMAKER 3* <https://www.3ditalyshop.it/prodotto/stampanti-3d/ultimaker/ultimaker-3/>

Scheda tecnica *FORM 2* <https://www.3ditalyshop.it/prodotto/stampanti-3d/formlabs/formlabs-form-2/>

3DRilievi

Homepage del portale <http://www.3drilievi.it/Forum/page/index.html>

ADOBE HELPX

Adobe Helpx - Photoshop guida utente, *Nozioni di base sui canali*

<https://helpx.adobe.com/it/photoshop/using/channel-basics.html>

AUTODESK KNOWLEDGE NETWORK

Autodesk University, *ArtCAM - Software for Artists Rather Than Engineers*, traduzione dell'autore

<https://knowledge.autodesk.com/support/artcam/learn-explore/caas/auonline/content/au/global/en/auonline/classes-on-demand/class-catalog/classes/year-2015/artcam/mfg12193/jcr-content.html?v=2017>

Autodesk Help, *ArtCAM: Ammorbidimento di un rilievo*

<https://knowledge.autodesk.com/it/support/artcam/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ITA/ARTC-WhatsNew/files/GUID-8B175067-1E11-4BE8-BB6E-B29B77C3BC74-htm.html>

Autodesk Help, *Create Triangle Mesh*, traduzione dell'autore

<https://knowledge.autodesk.com/support/artcam/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ENU/ARTC-ReferenceHelp/files/GUID-8A642523-E3D1-4D3A-9D0D-1646BCFD6074-htm.html>

BTA - BOLLETTINO TELEMATICO DELL'ARTE

Progetto *CaRoGuiMus9, Parte 1, Studi sulla percezione del colore, Prima Ricerca, Tavole pseudo-braille cromatiche* <http://www.bta.it/riv/rice/carogumus9/index.html>

Guglielmo M. G. Chiavistelli, *La scultura digitale*, BTA - Bollettino Telematico dell'Arte, 22.07.2017, n. 843

<http://bta.it/txt/a0/08/bta00843.html>

GNU OCTAVE

Scientific Programming Language

<https://www.gnu.org/software/octave/>

NIKONSCHOOL

Mauro Minetti, *Risoluzione e qualità dell'immagine digitale*, Nikonschool.it

<https://www.nikonschool.it/experience/risoluzione3.php>

NOEMALAB

NoemaLab, *I difetti nella riproduzione dell'immagine*

<http://org.noemalab.eu/sections/specials/tetcm/2002-03/dvd/difetti.html>

PHOTOSHOPESSENTIALS

The Benefits of Working With 16-Bit Images in Photoshop

<https://www.photoshopesentials.com/essentials/16-bit/>

RGB and Color Channels in Photoshop Explained

<https://www.photoshopesentials.com/essentials/rgb/>

PLURALSIGHT

Pluralsight, articolo del 14.08.2014

<https://www.pluralsight.com/blog/film-games/bump-normal-and-displacement-maps>

YOUTUBE

Canale personale di Roger Clyde Webb

https://www.youtube.com/channel/UCVbRweyeFzc6j7_VYQjwxYQ

IMMAGINI

Tutte le immagini presenti in questo testo sono state appositamente create dall'autore con lo scopo di illustrare i vari passaggi della metodologia applicata. Sono pertanto tutte originali ad eccezione delle seguenti, che comunque sono state rielaborate a seconda delle necessità:

- Immagine di partenza del *Sogno del Cavaliere* di Raffaello Sanzio

<http://www.bta.it/img/a2/28/bta02892.jpg>

- Fotografie digitali raffiguranti la *Creazione di Adamo* di Michelangelo Buonarroti

https://it.wikipedia.org/wiki/File:Michelangelo_-_Creation_of_Adam.jpg

https://it.wikipedia.org/wiki/File:Michelangelo,_Creation_of_Adam_04.jpg

- Texture del muro di mattoni utilizzata per creare la mappa di rilievo esplicativa

<https://get.pxhere.com/photo/architecture-house-texture-floor-building-city-wall-construction-line-red-desktop-tile-stone-wall-brick-material-stove-block-fortress-background-design-decorative-cement-scene-barrier-brickwork-obstacle-element-plaster-solid-deadlock-flooring-road-surface-856288.jpg>

SOFTWARE

Adobe Photoshop CC 2018

Autodesk Maya 2018

Autodesk ArtCAM Premium 2017

MeshLab 64bit v2016.12

Microsoft Word

Adobe Acrobat

SISTEMI OPERATIVI

MacOS High Sierra v10.13.3

Windows 7 Ultimate 64 bit

Contributo valutato da due referees anonimi nel rispetto delle finalità scientifiche, informative, creative e culturali storico-artistiche della rivista





Immagine

Livello

Testo

Selezione

Filtro

3D

Visualizza

Metodo ▶

Regolazioni ▶

Tono automatico ⌘⌥L

Contrasto automatico ⌘⌥⌘L

Colore automatico ⌘⌥B

Dimensione immagine... ⌘⌥I

Dimensione quadro... ⌘⌥C

Rotazione immagine ▶

Ritaglia

Rifila...

Mostra tutto

Duplica...

Applica immagine...

Calcoli...

Variabili ▶

Applica set di dati...

Abbondanza...

Analisi ▶

Bitmap

Scala di grigio

Due tonalità

Scala di colore...

✓ Colore RGB

Colore CMYK

Colore Lab

Multicanale

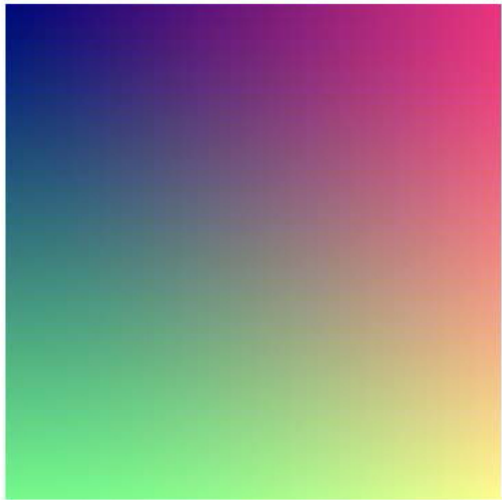
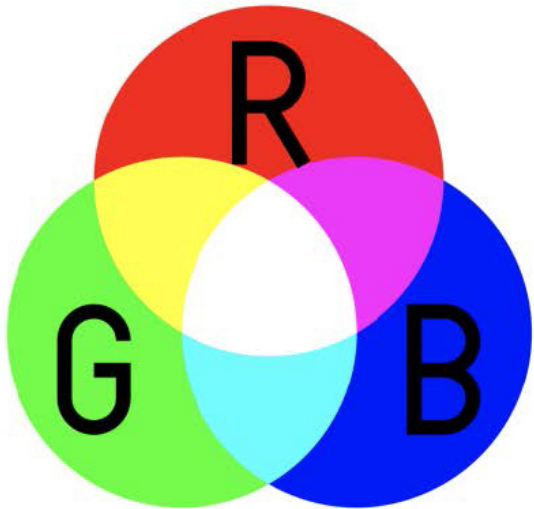
✓ 8 Bit/Canale

16 Bit/Canale

32 Bit/Canale

Tavola colore...











Livelli

Canali

Tracciati



RGB

⌘2



Rosso

⌘3



Verde

⌘4



Blu

⌘5

Opzioni TIFF

Compressione immagine

Nessuno

LZW

ZIP

JPEG

Qualità:

Massima

file piccolo

file grande

Salva piramide immag.

Salva trasparenza

Ordine pixel

Interlacciato (RGBRGB)

Per canale (RRGGBB)

Ordine byte

PC IBM

Macintosh

Compressione livelli

RLE (salvataggio più veloce, file più grandi)

ZIP (salvataggio più lento, file più piccoli)

Elimina livelli e salva una copia



File Modifica Vista Modello Vettore Bitmap Rilievo Percorso utensile Stampa 3D Finestra Guida

Nuovo ▶

 Apri... Ctrl+O

Chiudi modello

Chiudi progetto

 Salva Ctrl+S

Salva con nome...

Stampa... Ctrl+P

Anteprima di stampa...

Impostazioni di stampa...

1 RED 1.3mm FINAL.art


Esci

 Modello... Ctrl+N

Modello (Specifica Dimensioni Pixel)...

Modello da Immagine

Modello di rotazione...

 Progetto

Imposta Dimensioni




Altezza

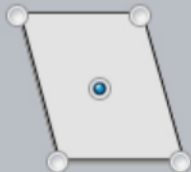


Metodo

- Dimensione Im
- Vettori selezionati
- d.p.i. scannerizzati

d.p.i

 Origine



Larghezza

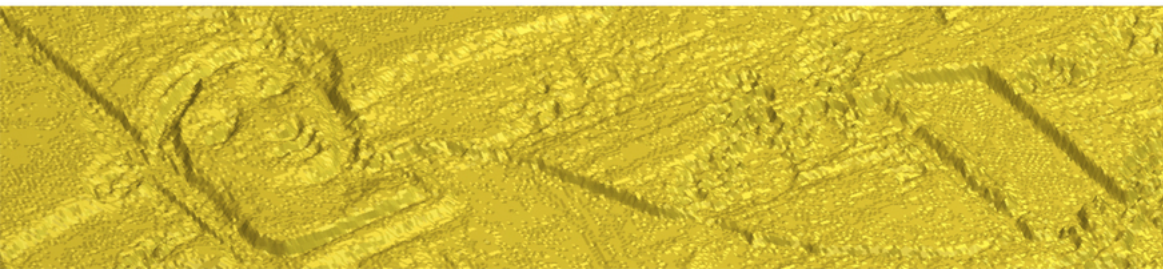
Altezza In Z:

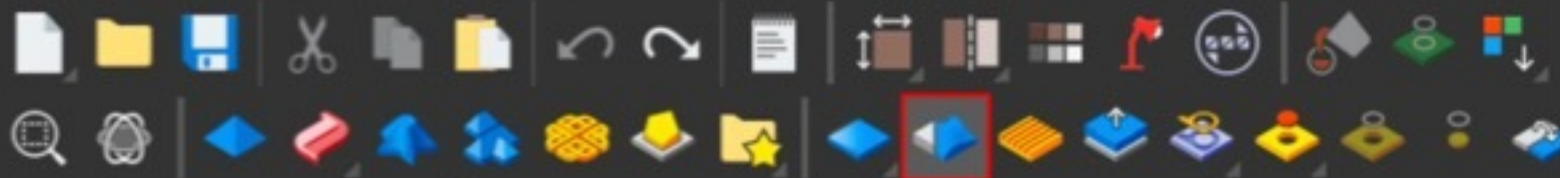
Unità

- mm
- pollici

OK


Annulla





Vista 2D - RED

Vista 3D

 **Rilievo uniforme**

Rilievo uniforme, opzionalmente entro i limiti rilievo di colore e visualizzazione

Rilievo uniforme



- Intero Livello
- Vettore
- Colore



Passate Ammorbidim.: 1

1

Altezza Massima Colore: 0.000

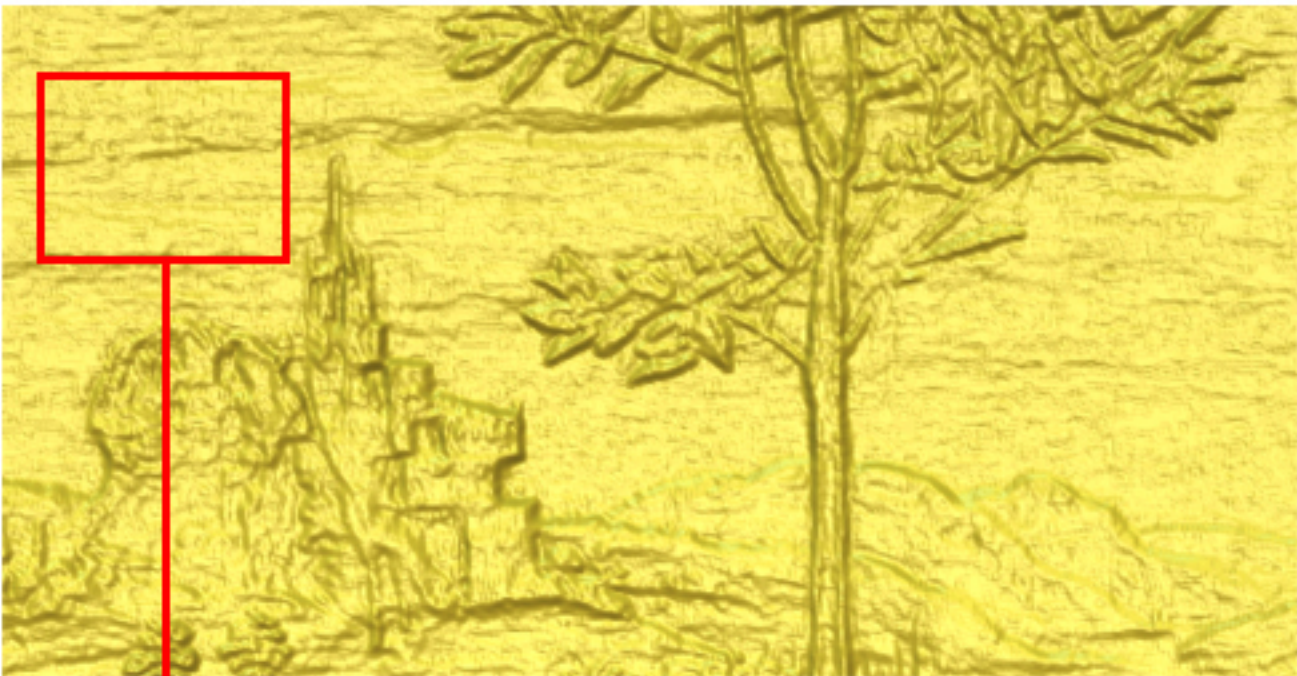
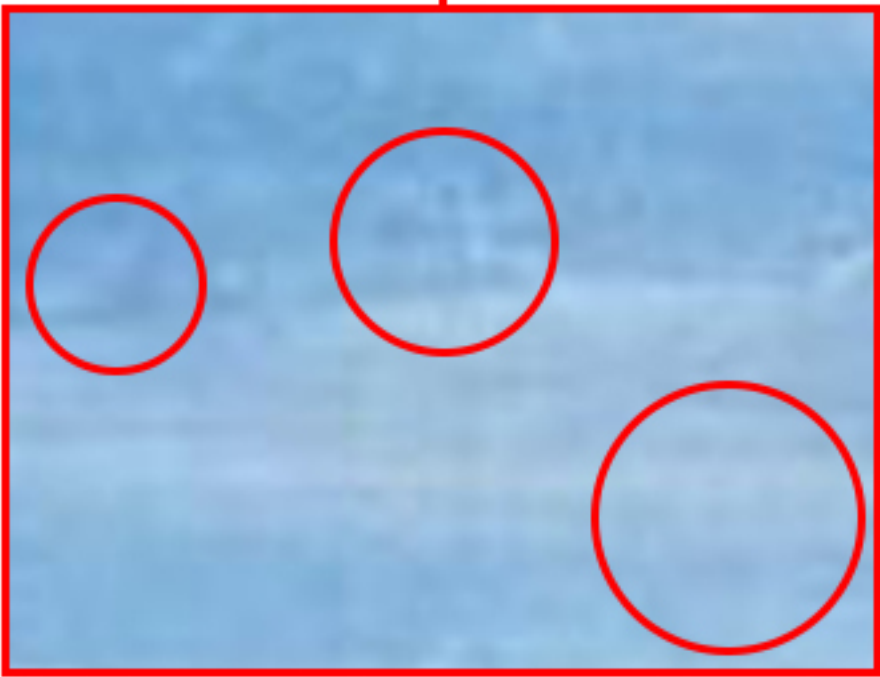
Altezza Minima Colore: 0.000

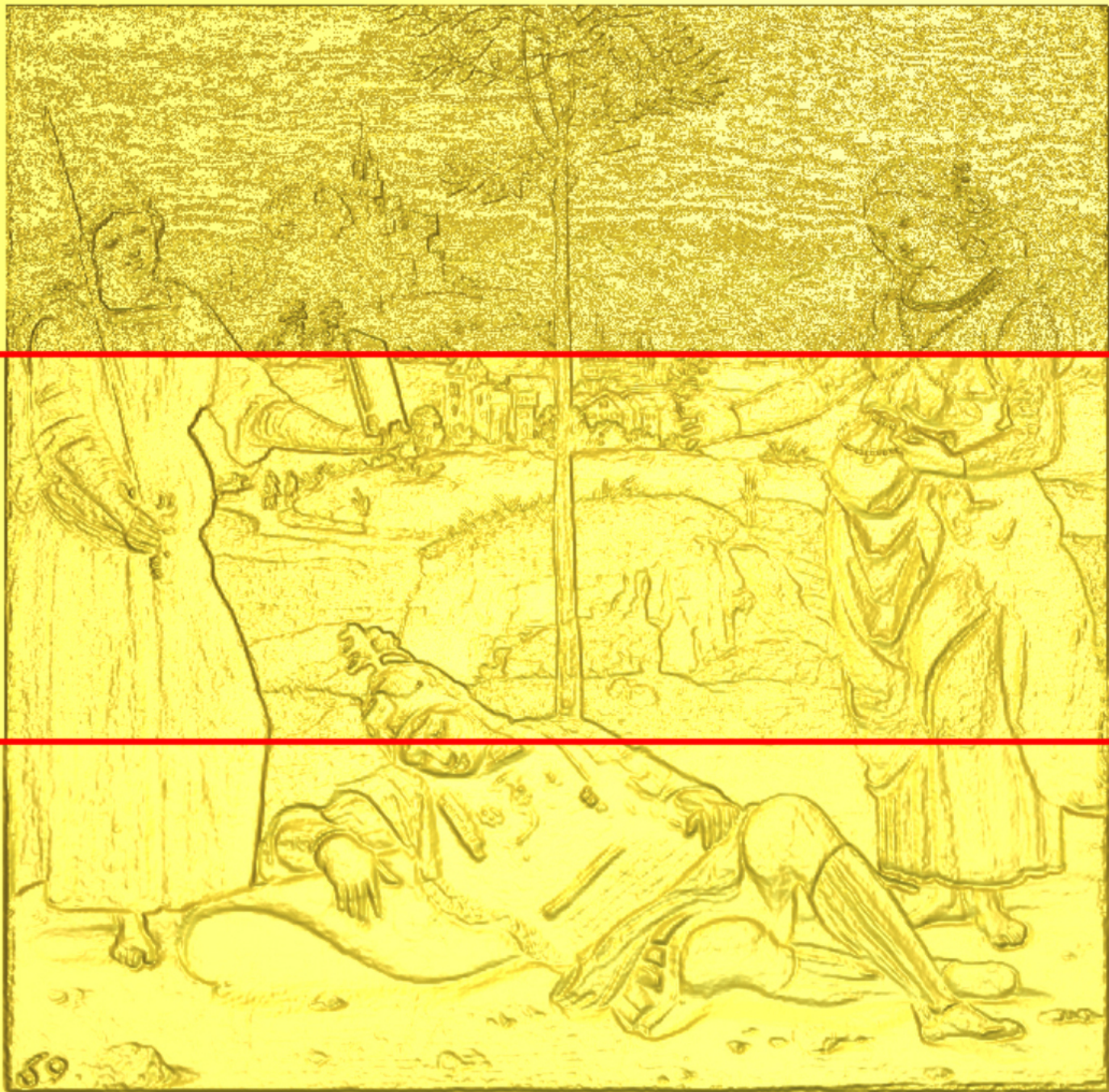
Altezza Massima Rilievo: 1.300

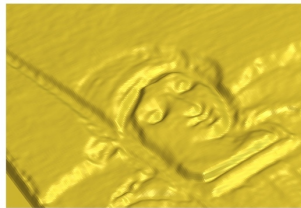
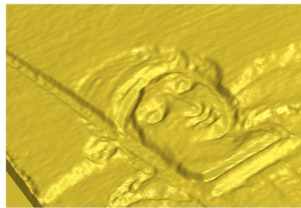
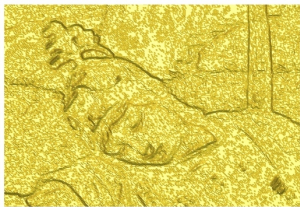
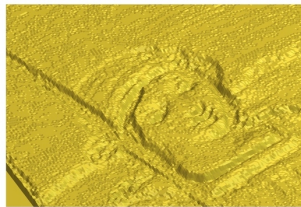
Altezza Minimo Rilievo: 0.000

Applica

Annulla







Crea Mesh di Triangoli



Opzioni

Metodo di triangolazione

Tolleranza mm

- Mesh aperta
- Chiudi con rilievo posteriore
- Chiudi con un piano piatto
- Chiudi con la parte anteriore rovesciata.

Chiudi con offset

Spessore mm

Limita la dimensione del triangolo

Avanzato

Crea

Risultato

Modalità disegno

Numero di triangoli: 718544

Volume: 136957.053 mm cubi

Peso

Materiale

Restringimento %

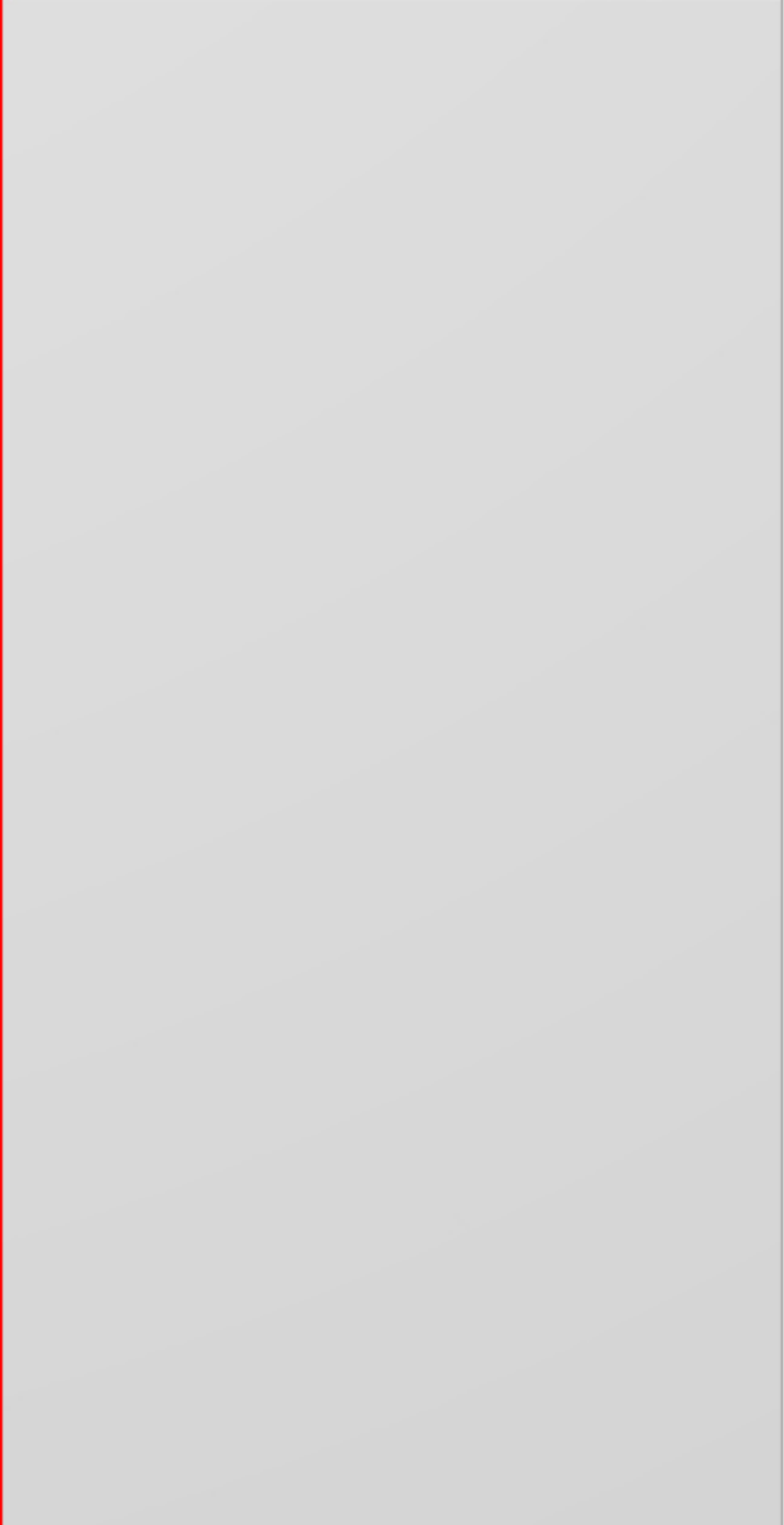
Peso: 1400.934 grammi

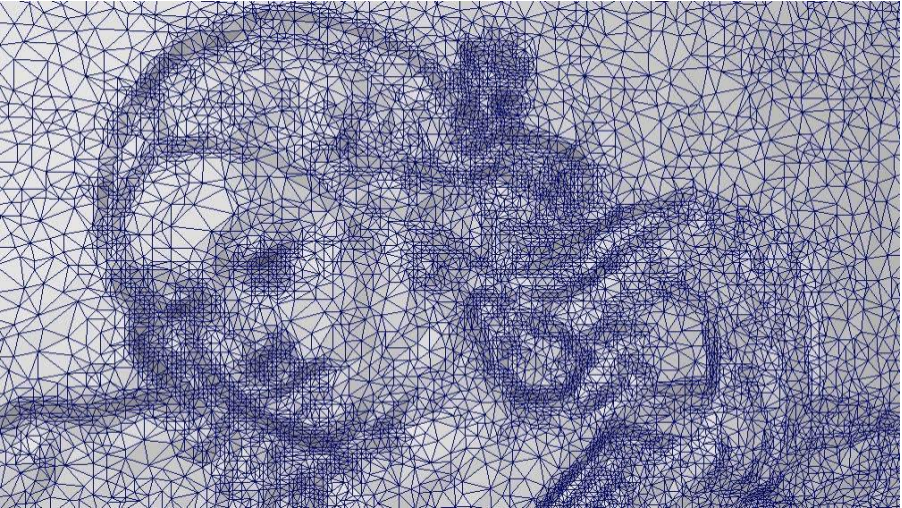
Esporta

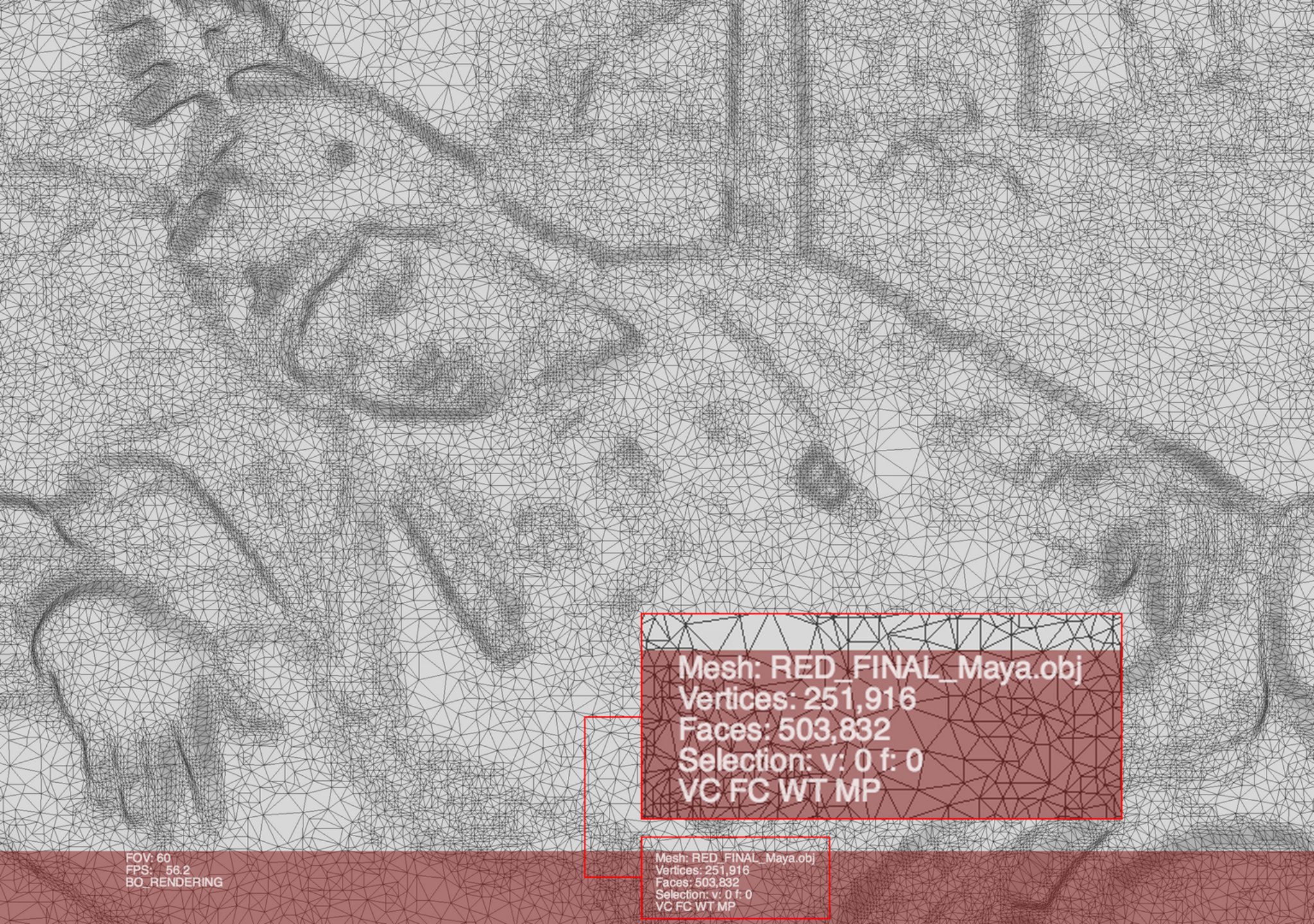
Salva

Copia negli Appunti

Crea



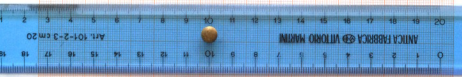




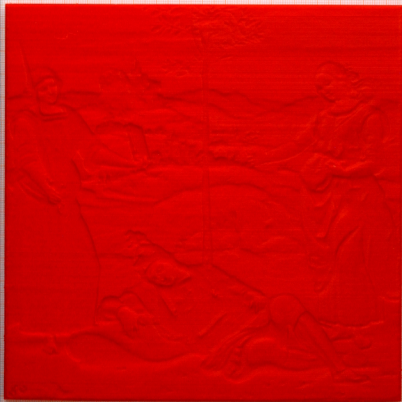
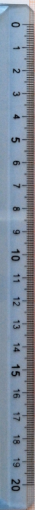
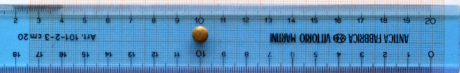
Mesh: RED_FINAL_Maya.obj
Vertices: 251,916
Faces: 503,832
Selection: v: 0 f: 0
VC FC WT MP

FOV: 60
FPS: 56.2
BO_RENDERING

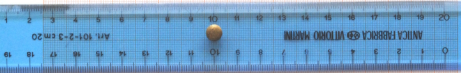
Mesh: RED_FINAL_Maya.obj
Vertices: 251,916
Faces: 503,832
Selection: v: 0 f: 0
VC FC WT MP











7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17



0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16



0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16



