



Τρισδιάστατη ψηφιακή ανακατασκευή μοντέλου  
αυτοκινήτου από φωτογραφίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Σοφία Κυρατζή για την επίβλεψη της εργασίας αυτής, καθώς και για τις συμβουλές της γύρω από τον σχηματισμό της εργασίας αληθιά και της αποτύπωσης των πληροφοριών. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω όλους τους φίλους και συγγενής μου που ήταν στο πλευρό μου καθ'όλη την διάρκεια της συγγραφής της διπλωματικής αυτής καθώς και της φοίτησης μου στο ΤΜΣΠΣ.

Δηλώνω υπεύθυνα ότι η διηλωματική εργασία είναι εξ' ολοκλήρου δικό μου έργο και κανένα μέρος της δεν είναι αντεγραμμένο από έντυπες ή ηλεκτρονικές πηγές, μετάφραση από ξενόγλωσσες πηγές και αναπαραγωγή από εργασίες άλλων ερευνητών ή φοιτητών. Όπου έχω βασιστεί σε ιδέες ή κείμενα άλλων, έχω προσπαθήσει, όσο είναι δυνατόν, να το προσδιορίσω σαφώς μέσα από την χρήση αναφορών, ακολουθώντας την ακαδημαϊκή δεοντολογία.

# Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη.....	1
Εισαγωγή.....	1
1 – Τι είναι η φωτογραμμετρία;	
1.1 Βασικά στοιχεία .....	1
1.2 Απαιτήσεις.....	4
1.3 Περιορισμοί.....	6
1.4 Ένα παράδειγμα χρήσης λογισμικού φωτογραμμετρίας.....	6
1.5 Προβληματικός χώρος.....	9
2 – Άλλες μέθοδοι δημιουργίας μοντέλων με χρήση εικόνων.....	12
2.1 Carozzeria Zagato- Lamborghini.....	12
2.2 Perspective Matching – 3ds Max, Blender.....	15
2.3 Autodesk Image Modeler.....	19
2.4 Επιλογή πιθανής προσέγγισης.....	23
3 – Εκκίνηση της διαδικασίας της τρισδιάστατης επαναδημιουργίας του αυτοκινήτου με την χρήση του λογισμικού Image Modeler.....	24
3.1 Κριτήρια επιλογής φωτογραφιών για την δημιουργία της βαθμονομημένης σκηνής.....	25
3.2 Επιλογή των αρχικών 6 εικόνων.....	30
3.3 Τοποθέτηση σημείων αναφοράς.....	32
3.4 Προσθήκη 5 ακόμη εικόνων στην διαδικασία βαθμονόμησης.....	37
3.5 Αντιστοίχιση ήδη υπαρχόντων σημείων αναφοράς στις νέες φωτογραφίες.....	39
3.6 Προσθήκη νέων εικόνων.....	41
3.7 Τοποθέτηση νέων σημείων αναφοράς.....	43
4 – Τρισδιάστατη μοντελοποίηση του αυτοκινήτου.....	45

4.1 Τοποθέτηση της σκηνής από το Image Modeler στο περιβάλλον του 3D Studio max.....	45
4.2 Δημιουργία επιφάνειας πολυγώνων.....	46
4.2.1 Δημιουργία του χαρακτηριστικού «εξογκώματος» του καπό..	56
4.2.2 Δημιουργία των μεταλλικών στοιχείων του εμπρός παραθύρου.....	58
4.2.3 Δημιουργία χαρακτηριστικής καμυγιάς κάτω από το πίσω ηλαϊνό παράθυρο.....	59
4.2.4 Δημιουργία χαρακτηριστικού «fillet» στο πίσω μέρος του αυτοκινήτου .....	60
4.2.5 Οπτικός έλεγχος των εργασιών.....	61
4.2.6 Δημιουργία βάσης του χερουηλού του πίσω πάνελ.....	62
4.2.7 Δημιουργία πατούρας στο εσωτερικό των φωτιστικών σωμάτων.....	64
4.2.8 Οπτικός έλεγχος των εργασιών.....	65
4.2.9 Δημιουργία των αρμών των πάνελ.....	65
4.2.10 Δημιουργία ανοίγματος του εμπρόσθιου αεραγωγού.....	69
4.2.11 Δημιουργία βάσης εμπρόσθιων μικρών φωτιστικών μερών...70	
4.2.12 Δημιουργία βάσης οπίσθιων φωτιστικών μερών.....	71
4.2.13 Δημιουργία ανοίγματος ηλαϊνών αεραγωγών.....	72
4.2.14 Οπτικός έλεγχος των εργασιών.....	73
4.2.15 Δημιουργία μεταλλικών στοιχείων των παραθύρων και του ηλαϊνού διακοσμητικού.....	73
4.2.16 Δημιουργία διάφανων καλυμμάτων των εμπρόσθιων φωτιστικών μερών.....	76
4.2.17 Οπτικός έλεγχος των εργασιών.....	77
4.2.18 Δημιουργία εμπρόσθιας γρίλιας και διάφορων μεταλλικών στοιχείων του εμπρός μέρους.....	78
4.2.19 Δημιουργία εμπρόσθιων μικρών φωτιστικών μερών και πίσω φωτιστικών μερών.....	80
4.2.20 Δημιουργία υαλοκαθαριστήρων.....	81
4.2.21 Δημιουργία βάσης στο κάτω μέρος του αυτοκινήτου.....	82

4.2.22 Δημιουργία εισαγωγών καυσίμου.....	82
4.2.23 Δημιουργία εξάτμισης.....	83
4.3 Οπτική αξιολόγηση του ψηφιακού οχήματος.....	84
4.3.1 Renderings του ψηφιακού μοντέλου.....	96
4.3.2 Δημιουργία μινιατούρας του αυτοκινήτου κλίμακας 1:24.....	101
5 – Πείραμα πιστότητας.....	103
5.1 Εύρεση Scanned data αυτοκινήτων.....	103
5.2 Μοντελοποίηση της Mercedes Benz CLK 430.....	104
5.3 Τοποθέτηση του μοντέλου που δημιουργήθηκε μέσα από χρήση φωτογραφιών πάνω στο μοντέλο του πραγματικού αυτοκινήτου.....	108
5.4 Μοντελοποίηση του Smart Fortwo.....	110
5.5 Τοποθέτηση του μοντέλου που δημιουργήθηκε μέσα από χρήση φωτογραφιών πάνω στο μοντέλο του πραγματικού αυτοκινήτου.....	113
5.6 Εκτίμηση των αποτελεσμάτων.....	115
6 – Συμπεράσματα.....	115
6.1 Πηγές.....	116

# Περίληψη

Η εργασία αυτή αποτελεί μια μελέτη γύρω από το πως θα μπορούσε να ενααφέρει κανείς ένα αντικείμενο, το οποίο δεν υπάρχει πια, μέσα από μια σειρά τυχαίων και αρκετά περιορισμένου αριθμού φωτογραφιών που το αποτυπώνουν. Ξεκινώντας από την απάντηση του ερωτήματος "γιατί δεν μας βοηθά η φωτογραμμετρία;", αναφέρονται ορισμένες εναλλακτικές μέθοδοι, οι οποίες μπορούν να εκμεταλλευτούν το μοναδικό στοιχείο που έχουμε από το αντικείμενο αυτό, το οποίο είναι μερικές φωτογραφίες. Έπειτα από την επιλογή της μεθόδου που θεωρήθηκε η καταλληλότερη για το εγχείρημα αυτό, ξεκινά η εφαρμογή της ως προς ένα συγκεκριμένο αντικείμενο, την Aston Martin DB4 Zagato με αριθμό σασί 0200/R, με σκοπό την ενααδημουργία του αυτοκινήτου αυτού σε ψηφιακή, τρισδιάστατη μορφή.

Τέλος, ακολουθεί ένα πείραμα, στο οποίο εφαρμόζεται η μέθοδος αυτή σε δύο ήδη υπάρχοντα αυτοκίνητα, όπου ακολουθεί σύγκριση της τρισδιάστατης επιφάνειας που δημιουργήθηκε με την μέθοδο που εφαρμόστηκε στην Aston Martin με τα νέφη σημείων που προέκυψαν από το σκανάρισμα των δύο αυτών αυτοκινήτων.

## Εισαγωγή

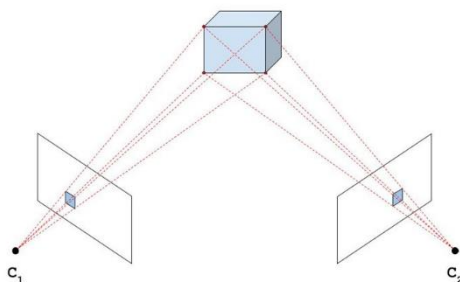
Η τεχνολογία γύρω από την τρισδιάστατη αναπαράσταση τα τελευταία χρόνια έχει φτάσει σε υψηλά επίπεδα. Πέρα από τις συσκευές σκαναρίσματος χειρός, οι οποίες μπορούν να παράγουν έως και βιομηχανικού επιπέδου νέφος σημείων[1], η φωτογραμμετρία, μέσα από την χρήση κάποιας κάμερας, που μπορεί να είναι και η κάμερα ενός smartphone, μπορεί να αναπαραστήσει σε τρισδιάστατη μορφή, ένα φυσικό αντικείμενο που έχει κανείς στα χέρια του[2], ή ακόμα κι ένα αντικείμενο που δεν μπορεί να αγγίξει, όπως ένα άγαλμα σε ένα μουσείο. Όλα αυτά ισχύουν για περιπτώσεις όπου κάποιος έχει το αντικείμενο, ή έχει αρκετές δεκάδες φωτογραφίες του, στην ίδια τοποθεσία, με τον ίδιο φωτισμό. Τι συμβαίνει όμως σε περιπτώσεις όπου το αντικείμενο αυτό έχει χαθεί, και το μόνο στοιχείο που υπάρχει από αυτό είναι μερικές φωτογραφίες, από διαφορετικές τοποθεσίες, διαφορετικές κάμερες και διαφορετικές συνθήκες; Τι συμβαίνει όταν, ενώ το κύριο μέρος του αντικειμένου αυτού παραμένει σε καλή κατάσταση στις φωτογραφίες, πολλή ή λίγη μέρη του έχουν δεχτεί μετατροπές με αποτέλεσμα να έχει σημαντικές αλλαγές ως προς την μορφή του; Πως θα μπορούσε κανείς να δημιουργήσει μια τρισδιάστατη αναπαράσταση, η οποία φτάνει όσο πιο κοντά γίνεται στο αντικείμενο αυτό, με τα διαθέσιμα δεδομένα που υπάρχουν (φωτογραφίες, μαρτυρίες κτλ) με στόχο την ενααφορά του στην αρχική του μορφή; Αυτή η διηλωματική εργασία έχει ως κύριο στόχο το να προσπαθήσει να απαντήσει αυτά τα ερωτήματα.

## 1 – Τι είναι η Φωτογραμμετρία;

### 1.1 Βασικά στοιχεία

Η φωτογραμμετρία είναι μια μέθοδος 3D ανακατασκευής ψηφιακών μοντέλων από αντικείμενα του πραγματικού κόσμου, που βασίζεται στη χρήση πολλαπλών φωτογραφιών. Οι τρόποι με τους οποίους δουλεύει κάποιος αριθμός φωτογραμμετρίας ποικίλουν, ήλιη οι περισσότεροι βασίζονται στην διαδικασία τριγωνοποίησης και τη δημιουργία σχήματος βάσει σιλουέτας (shape from silhouette). Η τριγωνοποίηση (triangulation) είναι μια διαδικασία αντιστοίχισης, συγκεκριμένα αντιστοίχισης σημείων και τοποθέτησής τους στον τρισδιάστατο χώρο, τα οποία ηροκύντουν μέσα από μια σειρά φωτογραφιών ενός αντικειμένου. Πιο συγκεκριμένα, ο αριθμός της τριγωνοποίησης ξεκινά από την εύρεση ενός κοινού σημείου μεταξύ 2 φωτογραφιών. Το σημείο αυτό αποτελεί κομμάτι της υλικής υπόστασης του αντικειμένου που θέλει κάποιος να καταγράψει. Όταν αυτό το σημείο εντοπιστεί με επιτυχία ανάμεσα σε 2 φωτογραφίες, ο αριθμός του ορίζει τις ακριβείς του συντεταγμένες στους άξονες x,y και z. Το ίδιο ισχύει και για τα ψηφιακά μοντέλα καμερών, τα οποία ανταποκρίνονται στις πραγματικές κάμερες που χρησιμοποιήθηκαν για να "τραβήξουν" τις εικόνες, καθώς η διαδικασία της τριγωνοποίησης μέσα από την

εύρεση της θέσης των σημείων, υπολογίζει και τις θέσεις των καμερών που χρησιμοποιήθηκαν για να φωτογραφίσουν το αντικείμενο που θέλει κάποιος να ψηφιοποιήσει. Επαναλαμβάνοντας αυτή την διαδικασία για κάθε μια από τις φωτογραφίες που έχουν "δοθεί" στον αριθμό, δημιουργείται ένα νέφος σημείων το οποίο "σχηματίζει" το αντικείμενο που απεικονίζουν οι φωτογραφίες που έχουν "δοθεί" στον αριθμό. Στην εικόνα 1.1, βλέπουμε την διαδικασία αντιστοίχισης ενός στοιχείου που είναι εμφανές σε 2 εικόνες, οι οποίες το έχουν αποτυπώσει από διαφορετική οπτική γωνία. Το στοιχείο αυτό είναι μια πλευρά ενός τετραγώνου, όπου μέσα από την διαδικασία της αντιστοίχισης, είναι πλήρως γνωστή και η θέση της πλευράς του τετραγώνου ως προς τους άξονες  $x, y, z$  καθώς και η θέση της κάμερας στον τρισδιάστατο χώρο. [3]

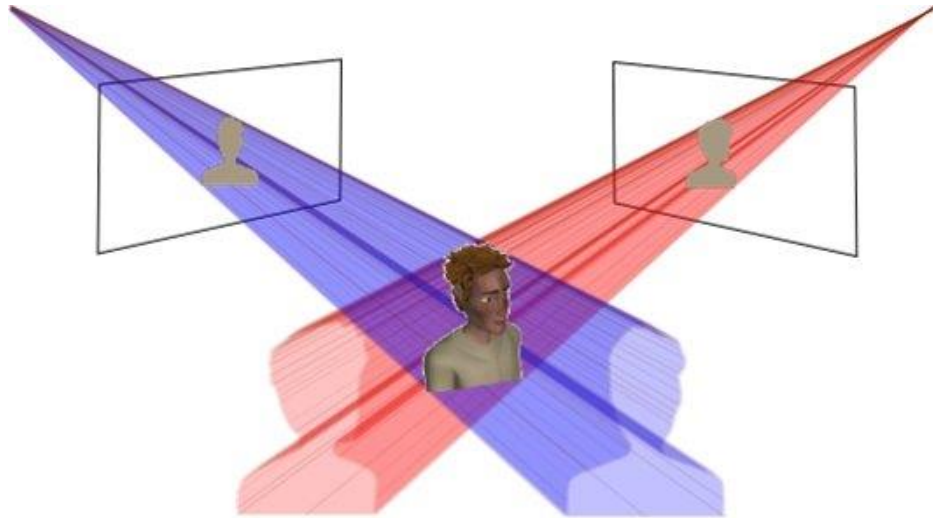


Εικόνα 1.1 : Μια εικόνα σχετικά με το πως λειτουργεί η διαδικασία του τριγωνισμού (triangulation)

Όσον αφορά την μέθοδο "shape from silhouette", είναι μια διαδικασία η οποία υπολογίζει τη γεωμετρία ενός αντικειμένου συνδυάζοντας διάφορες εικόνες στις οποίες αποτυπώνεται η σιλουέτα του. Με βάση την θεωρία και ορισμένα πειράματα, όσο περισσότερες εικόνες από διαφορετικές οπτικές γωνίες χρησιμοποιηθούν, στις οποίες είναι ξεκάθαρη η σιλουέτα του αντικειμένου, τόσο καλύτερο το τελικό αποτέλεσμα [4]. Στην εικόνα 1.2 φαίνεται ένα παράδειγμα συνδυασμού 2 σιλουετων από 2 διαφορετικές εικόνες. Όταν οι σιλουέτες τέμνονται, δημιουργούν ένα σχήμα. Εάν η σιλουέτα αυτή προέρχεται από την σωστή πλευρά, το σχήμα θα δημιουργηθεί σωστά. Ωστόσο, στην εικόνα 1.2, το αποτέλεσμα που εμφανίζεται στο κέντρο έγινε με συνδυασμό πολλών περισσότερων σιλουετών.

Θα μπορούσε να πει κανείς πως ο υπολογισμός του σχήματος με βάση ορισμένα σιπμιότυπα της σιλουέτας του αντικειμένου θυμίζει τον τρόπο που δημιουργούν αηουμινένια σώματα αυτοκινήτων ορισμένες καρσερί. Πάνω σε μια ξύλινη κατασκευή, η οποία περιλαμβάνει μια σειρά "τομών" του σχήματος που θέλουν να δημιουργήσουν από αηουμίνιο, καλούνται να δώσουν σχήμα στα φύλλα αηουμινίου ώστε το σχήμα αυτό να ακολουθή όλες τις "τομές", ενώ παράλληλα να διατηρεί μια ομαλή συνέχεια στην ροή των καμνύλων.





Εικόνα 1.2 : Μια εικόνα σχετικά το πως λειτουργεί η μέθοδος “shape from silhouette” μέσα από 2 διαφορετικά στιγμιότυπα της σιλουέτας του αντικειμένου.

Η διαδικασία μορφοποίησης του αλουμινίου με βάση τις τομές ενός σχήματος, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.3, θυμίζει αρκετά την διαδικασία “shape from silhouette”, μόνο που στην διαδικασία αυτή, οι “τομές” του αντικειμένου βρίσκονται σε τυχαία σημεία, και όχι σε σειρά ως προς κάποιον άξονα όπως για παράδειγμα στο αυτοκίνητο της φωτογραφίας.

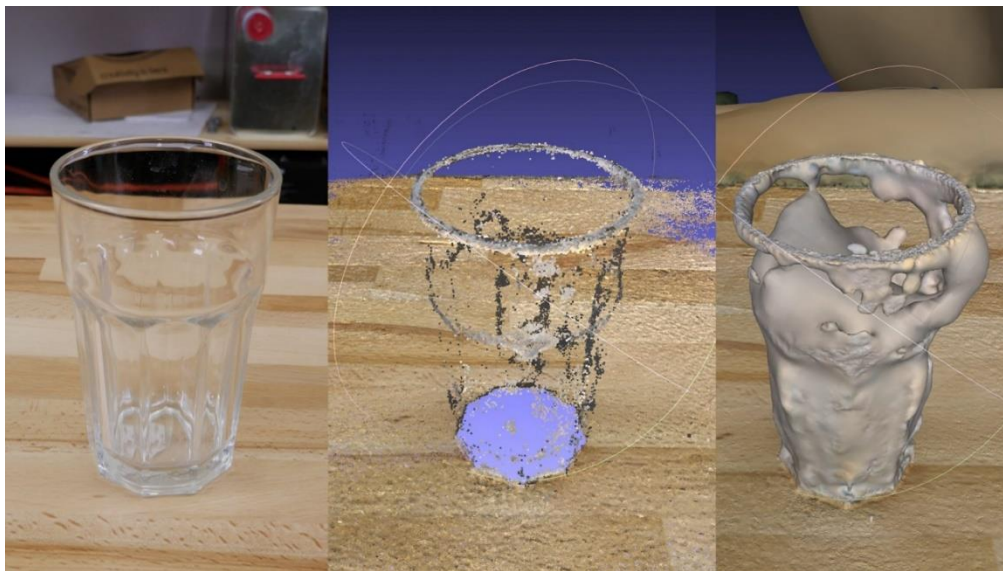


Εικόνα 1.3 : Το φύλλο αλουμινίου πρέπει να ακολουθήσει τις ασάλινες ράβδους/οδηγούς/τομές του σχήματος του αμαξώματος.

## 1.2 Απαιτήσεις

Για να λειτουργήσει σωστά η διαδικασία της φωτογραμμετρίας, ώστε να μπορέσει να προσφέρει στον χρήστη ένα αξιόλογο και ακριβές αποτέλεσμα, υπάρχουν ορισμένες προϋποθέσεις που θα πρέπει να τηρηθούν. Αυτές είναι:

- **Ο αριθμός των εικόνων.** Ο αριθμός εικόνων που απαιτείται για ένα αξιόλογο αποτέλεσμα διαφέρει από αντικείμενο σε αντικείμενο, καθώς θα πρέπει να λάβει κανείς υπόψη την περιληκτικότητα, το μέγεθος του αντικείμενου αλλά και τον βαθμό πιστότητας του ψηφιακού σε σχέση με το πραγματικό αντικείμενο (industrial grade, low poly κ.ο.κ.). Σε γενικές γραμμές, ο αριθμός αυτός κυμαίνεται μεταξύ 100-300 φωτογραφιών. Ωστόσο, όσο περισσότερες φωτογραφίες χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της τρισδιάστατης φόρμας, τόσο καλύτερο θα είναι και το αποτέλεσμα, με την προϋπόθεση αυτές να είναι τραβηγμένες με τον κατάλληλο τρόπο.
- **Ο τύπος της υφής της επιφάνειας του αντικείμενου.** Όσον αφορά το ίδιο το αντικείμενο, είναι αρκετά σημαντικό το να αποτελείται από επιφάνειες που δεν είναι διάφανες και γυαλιστερές, καθώς "μπερδεύουν" πολύ τον αλγόριθμο φωτογραμμετρίας, όταν προβεί σε αντιστοίχιση στοιχείων από φωτογραφία σε φωτογραφία. Κυρίως όσον αφορά σε στοιχεία, όπως πχ. οι αντανακλάσεις, τα οποία εμφανίζονται μόνο σε ορισμένες φωτογραφίες. Όπως βλέπουμε στην εικόνα 1.4, το αποτέλεσμα προσπάθειας ψηφιοποίησης ενός διάφανου αντικείμενου, στην περίπτωση αυτή αυτού του ποτηριού, μπορεί να καταλήξει σε ένα νέφος σημείων πάρα πολύ μακριά από το πραγματικό αντικείμενο. Στην εικόνα 1.5, φαίνεται μια προσπάθεια αντιμετώπισης του προβλήματος αυτού, όπου το πραγματικό αντικείμενο έχει επικαλυφθεί με matte μπογιά.



Εικόνα 1.4 : Ένα παράδειγμα εφαρμογής της φωτογραμμετρίας σε ένα διάφανο και γυαλιστερό αντικείμενο χωρίς καμία ιδιαίτερη προετοιμασία.



Εικόνα 1.5 : Ένα διάφανο και γυαλιστερό αντικείμενο καλύφθηκε με matte μπογιά, ώστε να μπορεί να αποτυπωθεί με ακρίβεια από το λογισμικό φωτογραμμετρίας.

- Κάθε φωτογραφία θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει ολόκληρο το θέμα, καθώς εξαιρετικά κοντινές φωτογραφίες, λόγω της παραμόρφωσης του φακού, δυσκολεύουν εξαιρετικά τον αλγόριθμο στον υπολογισμό του νέφους σημείων. Επίσης, συνιστάται χρήση τρίποδου για καλύτερη σταθερότητα της κάμερας κατά την φωτογράφιση, δεν είναι όμως απαραίτητο. Κάτι τελευταίο (και προφανές) είναι το να έχει ο χρήστης πρόσβαση στο αντικείμενο αυτό, για να τραβήξει τις φωτογραφίες με βάση τους κανόνες που αναφέρονται στο κείμενο αυτό. Στην εικόνα 1.6, βλέπουμε μια προσπάθεια φωτογραμμετρίας, η οποία [ληφθεί όλες τις προϋποθέσεις και τους κανόνες.



Εικόνα 1.6 : Ένα παράδειγμα καλής φωτογραμμετρίας.

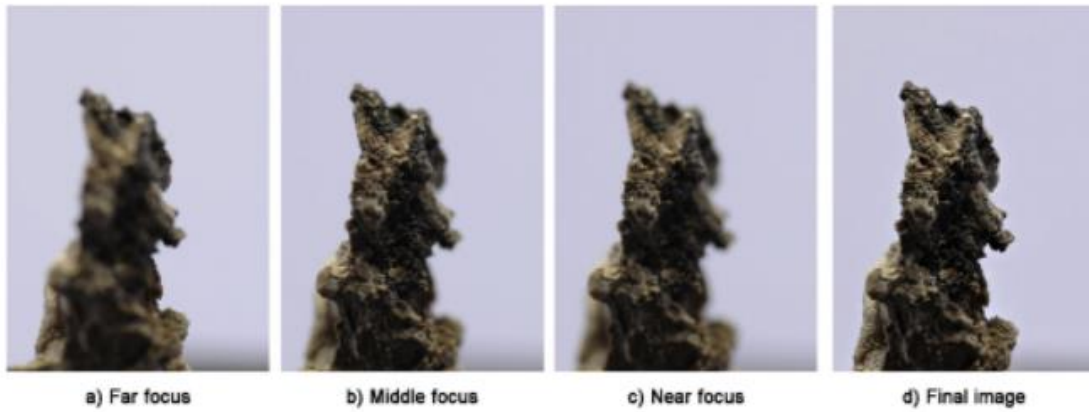
### 1.3 Περιορισμοί

- Όλες οι φωτογραφίες θα πρέπει να είναι τραβηγμένες μέσα από την ίδια κάμερα, καθώς διαφορετικά ο αλγόριθμος θα δημιουργήσει ένα νέφος σημείων που θα απέχει σημαντικά από το πραγματικό αντικείμενο.
- Όλες οι φωτογραφίες θα πρέπει να αποτυπώνουν το θέμα που επέλεξε ο χρήστης χωρίς να έχει μετακινηθεί καθόλου κατά την διάρκεια της φωτογράφισης.
- Όλες οι φωτογραφίες θα πρέπει να αποτυπώνουν το θέμα χωρίς μεγάλες διαφορές ως προς τον φωτισμό ώστε να υπάρχει ομοιογένεια μεταξύ τους. Εάν το αντικείμενο βρίσκεται σε χώρο με ελεγχόμενο φωτισμό, είναι επιθυμητό.
- Όλες οι φωτογραφίες θα πρέπει να είναι καλώς εστιασμένες στο θέμα χωρίς να υπάρχουν θοιλά σημεία καθώς θα πρέπει να είναι ξεκάθαρο σε κάθε φωτογραφία, το που είναι τα "όρια" του αντικειμένου σε σχέση με το παρασκήνιο (εικόνα 1.7).<sup>[5]</sup>
- Οι φωτογραφίες θα πρέπει να είναι υψηλής ανάλυσης εάν θέλουμε να αποτυπώσουμε με ακρίβεια κάποια ιδιαίτερη υφή του αντικειμένου.

### 1.4 Παράδειγμα χρήσης ριζοσπαστικού φωτογραμμετρίας

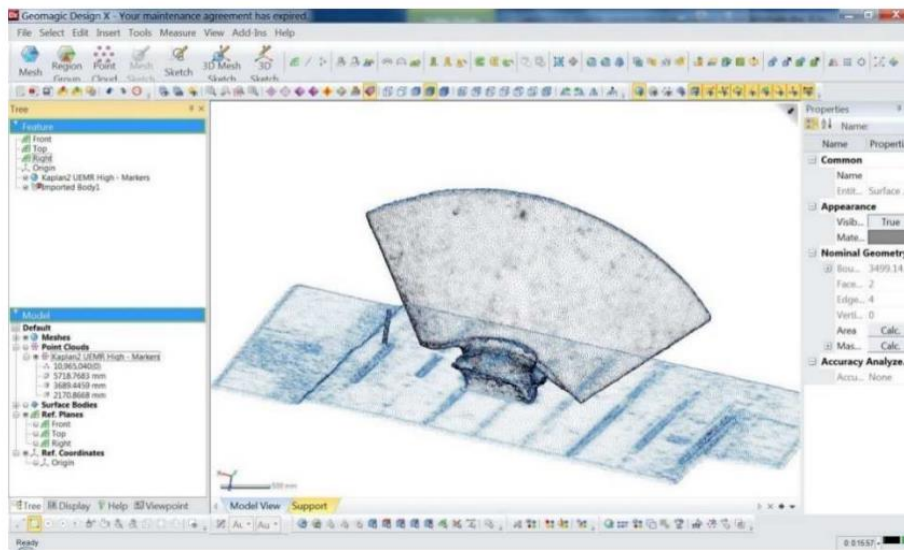
Αρχικά, ο χρήστης εισάγει τις φωτογραφίες που τράβηξε από ένα αντικείμενο που θέλει να το "ανακατασκευάσει" σε ψηφιακή, τρισδιάστατη μορφή. Τα περισσότερα ριζοσπαστικά φωτογραμμετρίας ζητάνε τεχνικές λεπτομέρειες για τον φακό της κάμερας που χρησιμοποιήθηκε, ώστε να μην χρειαστεί να κάνουν εκτιμήσεις γύρω από τα χαρακτηριστικά του φακού, καθώς και για να βελτιστοποιήσουν την ακρίβεια κατά την τριγωνοποίηση. Σε διαφορετική περίπτωση το ριζοσπαστικό υπολογίζει το focal length αυτόματα. Έπειτα, ξεκινά η διασταύρωση κοινών στοιχείων από φωτογραφία σε φωτογραφία, γνωστή ως τριγωνοποίηση (triangulation). <sup>[6]</sup>

Κατά το στάδιο της τριγωνοποίησης, λαμβάνεται υπόψη και η σιλουέτα του αντικειμένου σε κάθε φωτογραφία (Shape from silhouette)<sup>[4]</sup> καθώς δίνει πληροφορίες σχετικά με το όριο του σχήματος στον χώρο, σε σχέση με το παρασκήνιο. Στην εικόνα 1.7, η οποία είναι μέρος μιας εργασίας με τίτλο "3D reconstruction of small sized objects from a sequence of multi focused images"<sup>[5]</sup>, μπορεί να δει κανείς μια σωστά εστιασμένη εικόνα, η οποία προκύπτει από τον συνδυασμό διαφορετικά εστιασμένων εικόνων από την ίδια οπτική γωνία, ενός αρκετά μικρού αντικειμένου με πολλαπλές και ακανόνιστες λεπτομέρειες. Το αποτέλεσμα της τέταρτης εικόνας (d) από την σειρά εικόνων της 1.7 βοήθησε σημαντικά στην παραγωγή ενός καλύτερου νέφους σημείων.

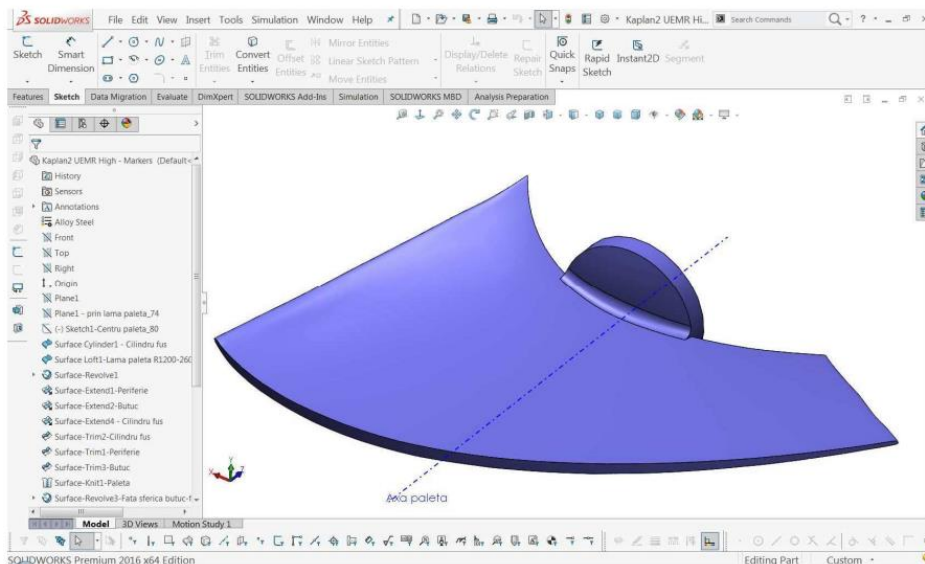


Εικόνα 1.7 : Τα όρια του αντικειμένου σε σχέση με το παρασκήνιο πρέπει να είναι σαφή

Οι παραπάνω εικόνες, όταν βρίσκονται σε σύνθεση μεταξύ τους, μπορούν να προσφέρουν ένα εξαιρετικό αποτέλεσμα, πολύ κοντά στο πραγματικό αντικείμενο λόγω της καλής εστίασης των φωτογραφιών ως προς το αντικείμενο. Το αποτέλεσμα αυτό αποτελείται από ένα νέφος σημείων, σαν κι αυτό που υπάρχει στην εικόνα 1.8 [7], το οποίο στην συνέχεια μπορεί κανείς να το επεξεργαστεί, ή και να το χρησιμοποιήσει ως βάση για να φτιάξει ένα νέο μοντέλο, το οποίο δεν θα έχει τις μικροατέλειες του νέφους σημείων, όπως βλέπουμε στην εικόνα 1.9, όπου το reverse engineering μιας λεπίδας προπέλας, μέρος μιας τουρμπίνας Karlan η οποία έμινε με βάση ενός νέφους σημείων που δημιουργήθηκε με φωτογραμμετρία.



Εικόνα 1.8 : Το νέφος σημείων μιας λεπίδας προπέλας, μέρος μιας τουρμπίνας Karlan. [7]



Εικόνα 1.9 : Το reverse engineering μιας λεπίδας προπέλας, μέρος μιας τουρμπίνας Kaplan[7]

Το λογισμικό παράλληλα με τη διαδικασία δημιουργίας του μοντέλου, δημιουργεί μια σκηνή, η οποία περιλαμβάνει και ψηφιακά μοντέλα καμερών, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.10. Οι ψηφιακές κάμερες γύρω από το μοντέλο είναι τοποθετημένες, στη θέση της φυσικής κάμερας που χρησιμοποιήθηκε για να τραβήξει την αντίστοιχη φωτογραφία που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία του νέφους σημείων. Αυτές τις κάμερες, ανάλογα με το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε, μπορεί κανείς να τις εξάγει και να τις χρησιμοποιήσει σε κάποιο πρόγραμμα τρισδιάστατης μοντελοποίησης.



Εικόνα 1.10 :Τα μοντέλα καμερών στο τρισδιάστατο περιβάλλον μοντελοποίησης

Οι βαθμονομημένες (calibrated) κάμερες διευκολύνουν τον/την σχεδιαστή/τρια να μοντελοποιήσει ένα αντικείμενο έχοντας ως σημείο αναφοράς τις φωτογραφίες που τραβήξε σε συνδυασμό με τα μοντέλα καμερών που δημιουργήθηκαν για κάθε ξεχωριστή φωτογραφία που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του νέφους.

Η φωτογραμμετρία έχει πολλές χρήσεις όπως η αποτύπωση βασικών μοντέλων κτιρίων μιας πόλης ή γενικότερα της μορφής του εδάφους κάποιας περιοχής για χαρτογράφηση, εφαρμογές αρχιτεκτονικού ενδιαφέροντος όπως π.χ. η πολιτιστική κληρονομιά, και αρχαιολογικού ενδιαφέροντος, στην αντίστροφη μηχανική αντικειμένων αλληλά και στη 3D μοντελοποίηση για καλλιτεχνικούς σκοπούς. Ωστόσο, υπάρχουν σημαντικοί λόγοι για τους οποίους δεν θα λειτουργήσει για την περίπτωση στην οποία αναφέρεται η διηλωματική αυτή, οι οποίοι θα αναλυθούν στην συνέχεια.

## 1.5 Προβληματικός χώρος

Η διηλωματική αυτή έχει ως στόχο την μοντελοποίηση ιστορικών αυτοκινήτων με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια, μέσα από μια περιορισμένη σειρά εικόνων. Συγκεκριμένα, το παράδειγμα ιστορικού αυτοκινήτου που θα μοντελοποιηθεί για την εργασία αυτή, είναι το αμάξι της πρώτης Aston Martin DB4 Zagato, με αριθμό σασί 0200/R πριν υποστεί μετατροπές κατά το πέρασμα του χρόνου, λόγω ατυχημάτων κατά την διάρκεια αγώνων κ.ο.κ. . Για την περίπτωση της Aston Martin DB4 Zagato υπάρχει μία σειρά περιορισμένου αριθμού φωτογραφιών οι οποίες τραβήχτηκαν κατά την παρουσίαση του αλληλά και κατά τις συμμετοχές του σε αγώνες την περίοδο του 1960-1965. Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχουν ούτε blueprints, ούτε τα αυθεντικά καλούπια που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία του αλουμινένιου αμαξώματος του. Στόχος είναι η μοντελοποίηση του αμαξώματος να βοηθήσει στην πιστή επαναφορά του αυτοκινήτου στην αρχική του κατάσταση. Στην εικόνα 1.11, μπορεί κανείς να δει μερικές βασικές διαφορές, συγκρίνοντας την μορφή του αυτοκινήτου με το πως ήταν μόλις παρουσιάστηκε, σε σχέση με το πως είναι σήμερα. Το ρύγχος του είναι πολύ πιο καμυλωτό, σε σχέση με το ιδιαίτερα μπετό ρύγχος που είχε στην αρχή. Τα "φουσκωμένα" και κίτρινα ιδιαίτερα καμυλωτά πίσω φτερά της φαίνονται σχεδόν επίπεδα στην μορφή της κατά την παρουσίαση της το 1960. Το σχήμα της γρύλλης έχει αλληλάξει σημαντικά, καθώς και των φωτιστικών σωμάτων, αλληλά και του καπό. Οι διαφορές στο σώμα του αυτοκινήτου αναγνωρίζονται ακόμα και από τον οίκο Zagato, καθώς ανάμεσα στα illustrations (εικόνα 1.13) που διαθέτει στην ιστοσελίδα του, <https://www.zagato.it/>, διαθέτει 2 διαφορετικά σχήματα της DB4 Zagato : ένα ξεχωριστό για την DB4 Zagato του 1960, που είναι η πρωτότυπη με αριθμό σασί 0200/R, και ένα για τις υπόλοιπες εκδοχές της, όπως αυτή με το σασί με αριθμό 0186/R.

Το πρόβλημα στο οποίο αναφέρεται η διηλωματική αυτή, έχει ορισμένες πτυχές οι οποίες δεν μπορούν να καλυφθούν από τις δυνατότητες της φωτογραμμετρίας. Πιο συγκεκριμένα, ορισμένες απαιτήσεις-περιορισμοί που θεωρούνται ακρογωνιαίοι λίθοι για την δημιουργία ενός καλού νέφους σημείων ή για την βαθμονόμηση (calibration) μιας σειράς καμερών ώστε να πραγματοποιηθεί τρισδιάστατη μοντελοποίηση ενός αντικειμένου μέσα από την διαδικασία της φωτογραμμετρίας, δεν γίνεται να κληρωθούν σε αυτή την περίπτωση. Αρχικά, μιλώντας καθαρά για τον αριθμό των εικόνων, η εύρεση 100-300 εικόνων ενός αντικειμένου που έχει χαθεί εδώ και πολλές φορές δεν είναι εφικτή. Επίσης, είναι ακόμα πιο ανέφικτο το να ανήκει αυτή η συλλογή φωτογραφιών σε μια φωτογράφιση του αντικειμένου σε έναν

συγκεκριμένο τόπο, και από μια συγκεκριμένη κάμερα. Αξίζει να αναφερθεί πως υπάρχει μια αρκετά μεγάλη πιθανότητα τα στοιχεία της κάμερας και του φακού που χρησιμοποιήθηκαν για να τραβήξουν την κάθε φωτογραφία να είναι εντελώς άγνωστα, καθώς πολλές φορές πρόκειται για φωτογραφίες που έχουν τραβηχτεί με χρήση φιλμ. Μια ακόμα πτυχή του προβλήματος, η οποία απορρίπτει την φωτογραμμετρία ως επιλογή, είναι οι πιθανές αλλοιώσεις που έχει δεχτεί το αντικείμενο και είναι εμφανείς από φωτογραφία σε φωτογραφία, για παράδειγμα ένα παλιό αγωνιστικό αυτοκίνητο το οποίο έτρεχε σε αγώνες και υπέστη διάφορες μετατροπές, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.12. Επιπλέον, εάν το αντικείμενο τυχαίνει να είναι εξαιρετικά ψαθυρό, προσθέτει ακόμα έναν βαθμό δυσκολίας στην επίλυση του προβλήματος με την χρήση της φωτογραμμετρίας.



Εικόνα 1.11 : Το χτες και το σήμερα : Οι διαφορές στα φτερά, στο ρύγχος, στο καπό αλλά και στα φωτιστικά σώματα της συγκεκριμένης DB4 Zagato.



Εικόνα 1.12 : Οι διαφορές στο φάρδος των φτερών, καθώς και στο χρώμα της συγκεκριμένης DB4 Zagato μεταξύ των 2 φωτογραφιών είναι ξεκάθαρες.





1960 - Aston Martin - DB4 GTZ



1961 - Aston Martin - DB4 GTZ

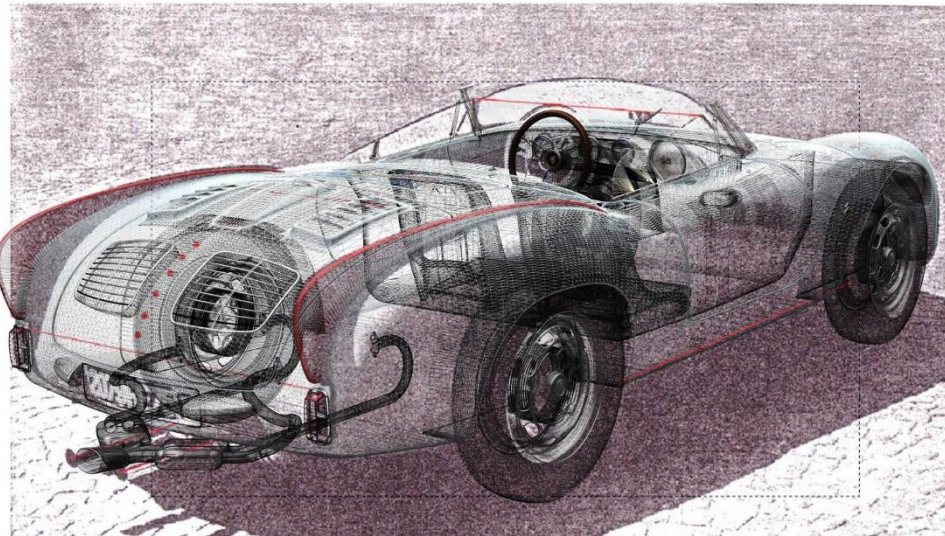
Εικόνα 1.13 : Οι διαφορές μεταξύ της πρώτης DB4 Zagato (1960) σε σχέση με τις υπόλοιπες της σειράς (1961).

## 2 - Άλλες μέθοδοι δημιουργίας μοντέλων με χρήση εικόνων

Δεν υπάρχει καμία διαδεδομένη μεθοδολογία προσέγγισης του παρόντος προβλήματος, καθώς είναι πολύ δύσκολη η ακριβής αναπαραγωγή ενός νέφους σημείων ενός αντικειμένου μέσα από φωτογραφίες κακής ποιότητας, ειδικά σε περίπτωση που αυτές είναι λίγες. Παρόλα αυτά, υπάρχουν ορισμένες πειραματικές προσεγγίσεις γύρω από την δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων με βάση έναν περιορισμένο αριθμό φωτογραφιών.

### 2.1 Carrozzeria Zagato - Lamborghini

Ορισμένες εταιρείες μεταξύ αυτών η carrozzeria Zagato με το πρόγραμμα της "Sanction lost" και η Lamborghini έχουν αναπαράξει χαμένα αυτοκίνητα του παρελθόντος μέσω μιας μεθόδου κατά την οποία δημιουργούν ψηφιακά μοντέλα καμερών τα οποία ταυτίζονται με τις φυσικές κάμερες που χρησιμοποιήθηκαν για να φωτογραφίσουν το συγκεκριμένο αυτοκίνητο. Ο υπολογισμός της θέσης των ψηφιακών καμερών βασίζεται στην εκάστοτε διαθέσιμη φωτογραφία. Ο συνδυασμός ψηφιακής κάμερας και φωτογραφίας επιτρέπει την μοντελοποίηση της γεωμετρίας του αυτοκινήτου. Στην εικόνα 2.1, απεικονίζεται η ταύτιση του τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου της Porsche 356 Zagato Speedster, με την φωτογραφία τους ενός μοναδικού φυσικού μοντέλου αυτοκινήτου, από το 1958. Στην εικόνα 2.3, φαίνεται το φυσικό μοντέλο της Porsche 356 Zagato Speedster που ανακατασκευάστηκε με βάση μιας σειράς φωτογραφιών. Το ίδιο ακριβώς, εφαρμόστηκε και για την Lancia Aprilia Sport Zagato του 1938, όπου αφού δημιουργήθηκε ένα μοντέλο με μοναδικό στοιχείο, 2 φωτογραφίες της εποχής (εικόνα 2.2), το αυτοκίνητο επανήλθε και πάλι (εικόνα 2.4).



Εικόνα 2.1 : Το τρισδιάστατο,ψηφιακό μοντέλο της Porsche 356 Zagato Speedster, τοποθετημένο επάνω σε μια φωτογραφία εποχής της μιας και μοναδικής Porsche 356 Zagato Speedster.



Εικόνα 2.2 : Το τρισδιάστατο,ψηφιακό μοντέλο της Lancia Aprilia Sport Zagato του 1938, τοποθετημένο πάνω σε μια φωτογραφία εποχής, η οποία, μαζί με άλλες, χρησιμοποιήθηκε για την “ανάσταση” της.



2.3 : Η καροσερί Zagato επανέφερε την χαμένη Porsche 356 Zagato Speedster μέσα από μερικές φωτογραφίες του παρελθόντος.



Εικόνα 2.4 : Η καροσερί Zagato επανέφερε την χαμένη Lancia Aprillia Sport Zagato του 1938 μέσα από μερικές φωτογραφίες του παρελθόντος.



Εικόνα 2.5 : Η πρώτη Lamborghini Countach, συγκεκριμένα το πρωτότυπο “LP500” του 1971 που καταστράφηκε σε δοκιμές crash test.



Εικόνα 2.6 Η πλέον “αναστημένη” Lamborghini Countach LP500 του 1971, επανήλθε το 2021 και πάλι μέσα από στοιχεία και φωτογραφίες του παρελθόντος.

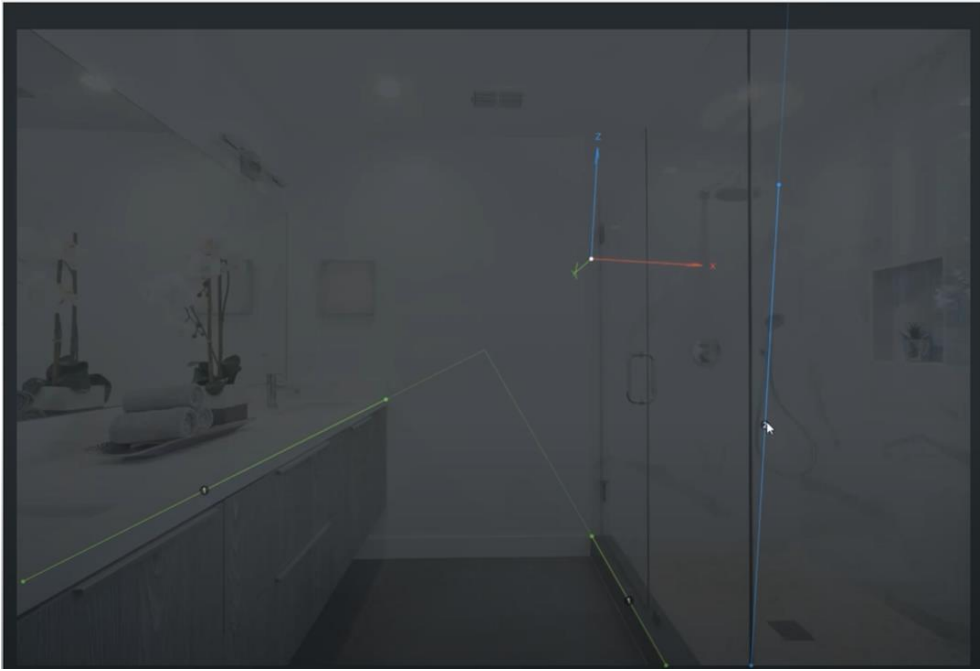
Η Lamborghini, από την άγληη, ανέστησε το αυτοκίνητο που όρισε την ταυτότητα της, το οποίο είχε καταστραφεί ήλιο μετά την παρουσίαση του, καθώς έπρεπε να δοκιμαστεί σε crash tests (εικόνα 2.5). Η Lamborghini Countach LP500 του 1971, επανήλθε από ό,τι στοιχεία είχε η εταιρεία διαθέσιμα, όπως μια μεγάλη συλλογή φωτογραφιών, το 2021 (εικόνα 2.6). Περισσότερα στοιχεία για τα παραπάνω παραδείγματα δεν έχουν δημοσιευθεί, καθώς η καρσοσερί Zagato και η Lamborghini δεν έχουν παρουσιάσει αναλυτικά τα ενδιάμεσα στάδια γύρω από το πως κατέληξαν στο τελικό αποτέλεσμα.

## 2.2 Perspective Matching - 3ds Max, Blender

Μιλώντας για απλούστερες γεωμετρίες, τα προγράμματα μοντελοποίησης όπως το 3D Studio Max και το Blender (συγκεκριμένα, η προσθήκη fSpy για το Blender), προσφέρουν μια λειτουργία που βοηθά στο calibration ψηφιακών μοντέλων καμερών, ως προς κάποια φωτογραφία, με στόχο την μοντελοποίηση του αντικείμενου που είναι διακριτό στην φωτογραφία αυτή. Στόχος είναι η βαθμονόμηση του ψηφιακού μοντέλου κάμερας, να ταυτίζεται με την πραγματική κάμερα που χρησιμοποιήθηκε για να τραβήξει την αρχική φωτογραφία. Για την επίτευξη του στόχου αυτού χρησιμοποιείται μια διαδικασία “ταύτισης” των αξόνων  $x, y, z$  με αντικείμενα στον χώρο, γνωστή ως perspective matching. Με ήλιο λόγια, είναι μια διαδικασία που έχει ως σκοπό να ταιριάξει την προοπτική μιας φωτογραφίας, με την προοπτική ενός ψηφιακού περιβάλλοντος μοντελοποίησης. Αυτή όμως η μέθοδος δουλεύει κυρίως στη μοντελοποίηση κτιρίων καθώς ήλιο της γεωμετρίας τους (ίσιες και κάθετες γραμμές) επιτρέπουν στον χρήστη να κάνει σωστή ταύτιση των αξόνων  $x, y, z$  (κόκκινο, πράσινο, μπλε αντίστοιχα) με βάση ορισμένες γεωμετρικές αντικείμενων που συμπεριλαμβάνονται στην φωτογραφία, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.77.

Με την ταύτιση των αξόνων  $x, y, z$ , δημιουργείται το σημείο φυγής της προοπτικής προβολής. Μετά την σωστή τοποθέτηση των αξόνων  $x, y, z$  που φαίνεται και στην εικόνα 2.8, ακολουθεί μια προσπάθεια επαλήθευσης της ακρίβειας του μοντέλου της κάμερας, με την εισαγωγή μερικών ψηφιακών, τρισδιάστατων γεωμετριών. Εάν η γεωμετρία ταιριάζει με την προοπτική του μοντέλου κάμερας, όπως φαίνεται πως ταιριάζει η γεωμετρία στα αριστερά της εικόνας 2.8 με τον τοίχο στα αριστερά, η βαθμονόμηση της

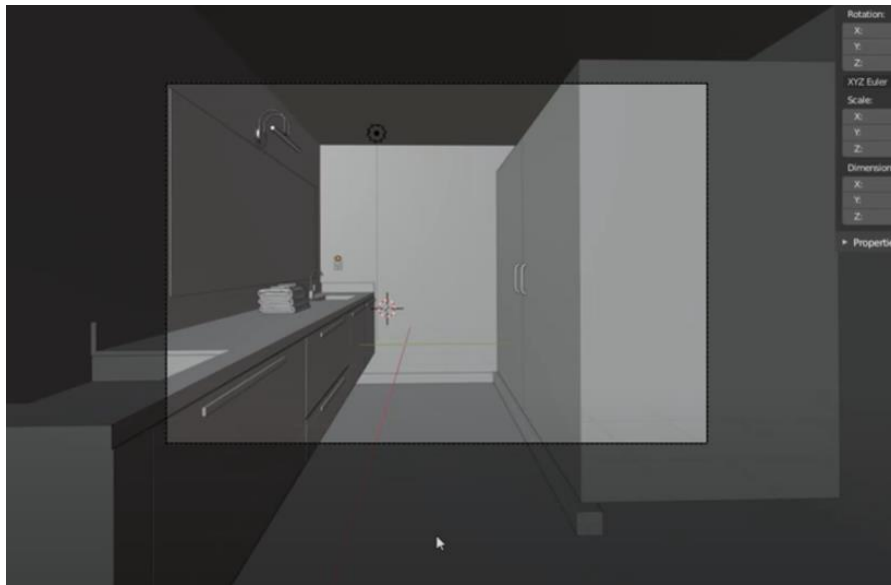
κάμερας έχει γίνει με επιτυχία. Στην συνέχεια, ξεκινά η μοντελοποίηση, όπου το αποτέλεσμα της οποίας μπορούμε να δούμε στις εικόνες 2.9, 2.10, 2.11, 2.12.



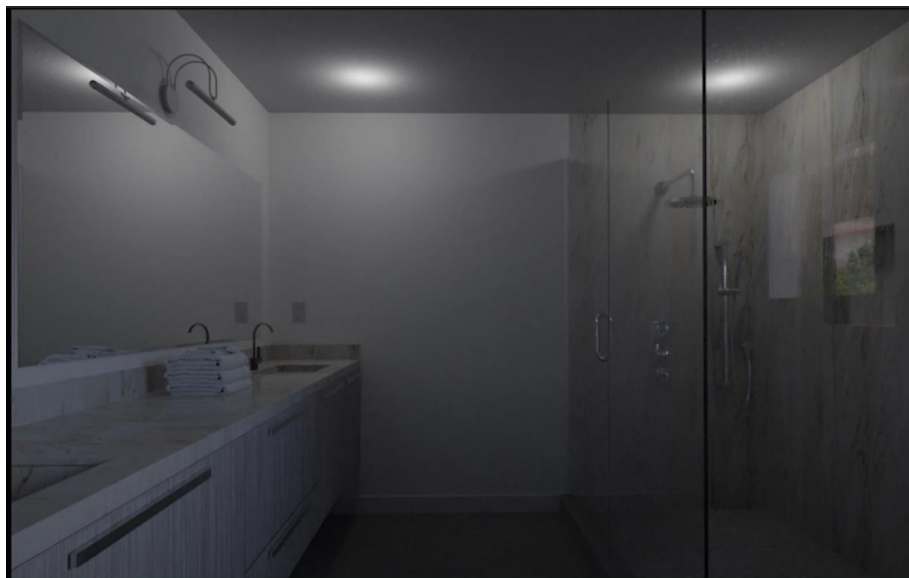
Εικόνα 2.7 : Αντιστοίχιση των αξόνων  $x,y,z$  (κόκκινο, πράσινο, μπλε αντίστοιχα) για την δημιουργία ψηφιακού μοντέλου κάμερας.φυγής να δημιουργείται.



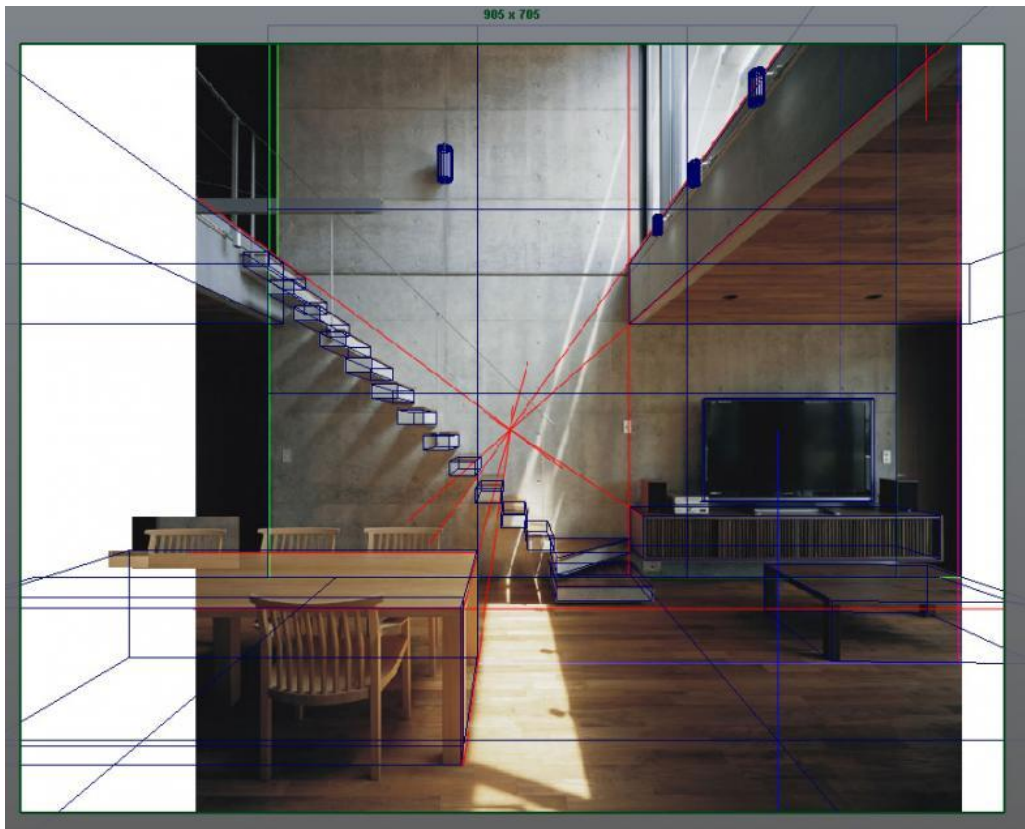
Εικόνα 2.8 : Επαλήθευση της βαθμονόμησης με μερικά τρισδιάστατα ψηφιακά μοντέλα γεωμετριών.



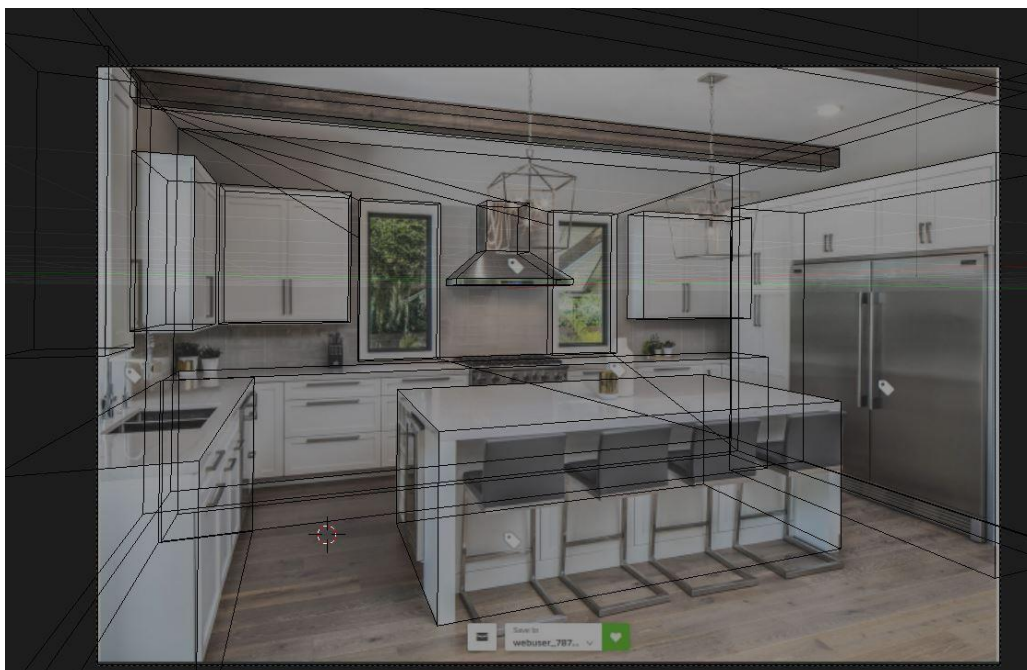
Εικόνα 2.9 : Το αποτέλεσμα της τρισδιάστατης μοντελοποίησης, πριν την εφαρμογή υφών, φωτισμού και χρωμάτων.



Εικόνα 2.10 : Το τελικό render, το οποίο μοντελοποιήθηκε με βάση την εικόνα 1.17 στην αρχή της εξήγησης των βημάτων.



Εικόνα 2.11 : ένα παράδειγμα μοντελοποίησης με βάση την ίδια διαδικασία



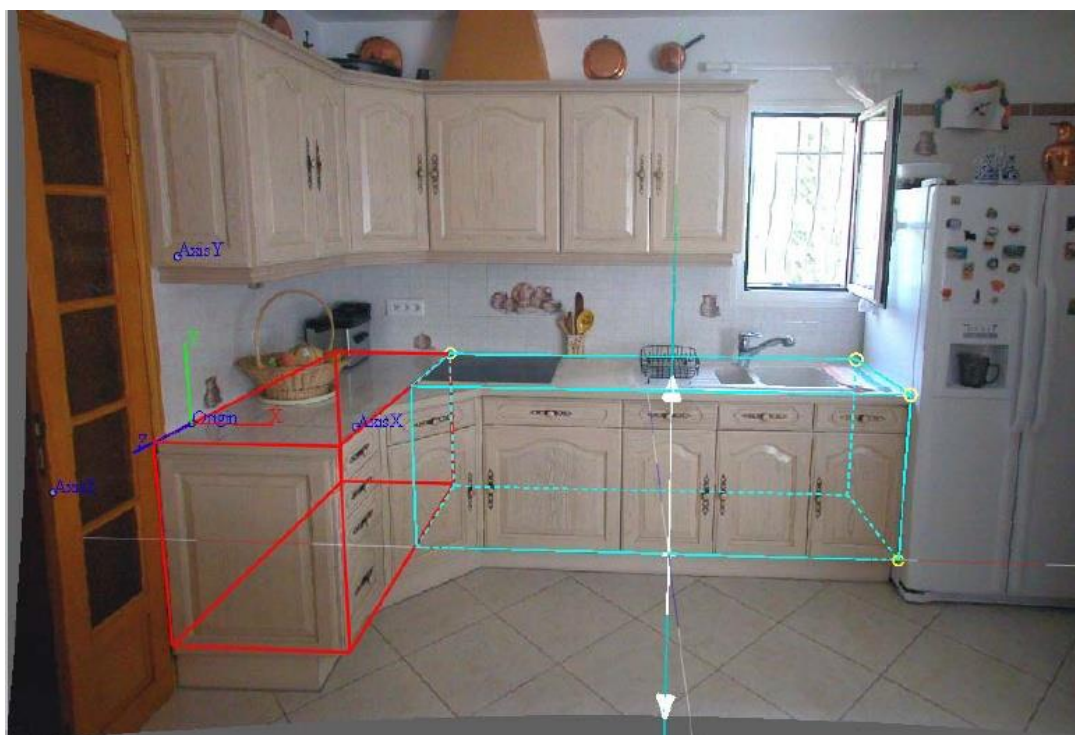
Εικόνα 2.12 : ένα παράδειγμα μοντελοποίησης με βάση την ίδια διαδικασία



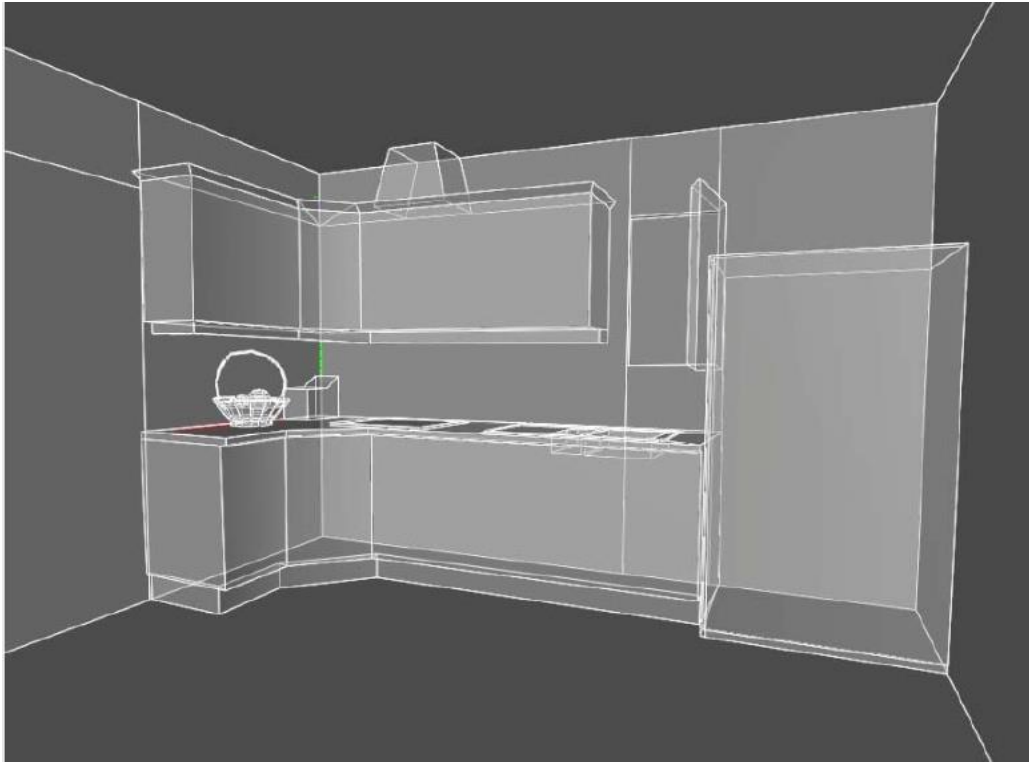
## 2.3 Autodesk Image modeler

Ένα διαδεδομένο λογισμικό που χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις μοντελοποίησης αντικειμένων με βάση έναν περιορισμένο αριθμό εικόνων είναι το Image Modeler της Autodesk. Το Image Modeler, δημιουργήθηκε για την μοντελοποίηση κτιρίων, μοντελοποιήσει κτίρια[8], [9], για τη μέτρηση μεγεθών σε αυτά, και την εξαγωγή βασικών επιφανειών και υφών με έναν πολύ διαφορετικό τρόπο : δίνοντας κάποια "σημεία αναφοράς" (locators) από εικόνα σε εικόνα, μια διαδικασία πολύ κοντά στο triangulation της φωτογραμμετρίας, μόνο που αυτός που είναι υπεύθυνος για την επιλογή και την σωστή αντιστοίχιση σημείων είναι ο χρήστης.

Η διαφορά του όμως με την μέθοδο της φωτογραμμετρίας είναι στο ότι δεν απαιτούνται εκατοντάδες φωτογραφίες, η βαθμονόμηση (calibration) γίνεται εντελώς χειροκίνητα μέσω των σημείων αναφοράς (locators), και το αποτέλεσμα που λαμβάνει ο χρήστης δεν είναι ένα νέφος σημείων, αλλά μια σειρά καμερών, οι οποίες βρίσκονται γύρω από τα σημεία που δημιουργήθηκαν στον χώρο χειροκίνητα, με σκοπό την μοντελοποίηση του περιεχομένου των εικόνων με αρκετά καλή ακρίβεια. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.13, το λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα μοντελοποίησης μερικών βασικών στερεών. Στην εικόνα 2.14 φαίνεται η μοντελοποίηση του περιεχομένου της εικόνας 2.13.



Εικόνα 2.13 : βαθμονόμηση κάμερας και μοντελοποίηση μέσα στο περιβάλλον του Autodesk Imagemodeler

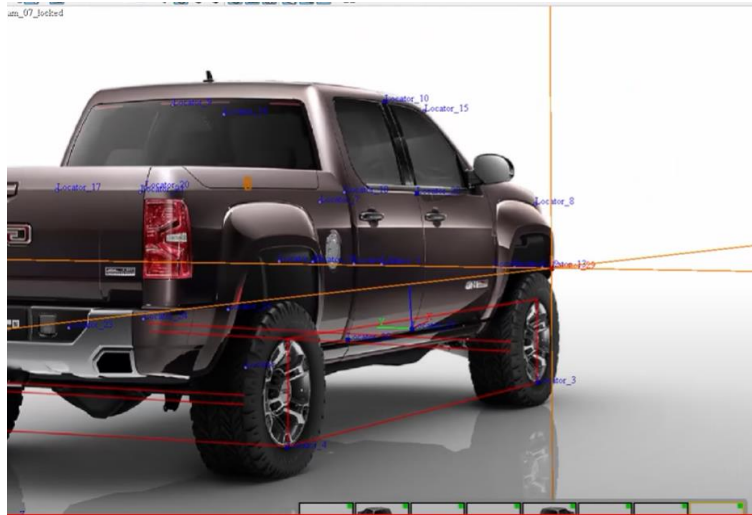


Εικόνα 2.14 : αποτέλεσμα της βαθμονόμησης καμερών και περαιτέρω μοντελοποίησης του περιεχομένου της εικόνας 1.23.

Εάν είναι γνωστές ορισμένες πληροφορίες γύρω από την κάμερα, όπως η εστιακή απόσταση, μεγέθυνση, τότε η βαθμονόμηση (calibration) θα απαιτήσει πολύ λιγότερη προσπάθεια. Παρόλα αυτά, το λογισμικό αυτό επιτρέπει στον χρήστη να χρησιμοποιήσει και φωτογραφίες για τις οποίες δεν έχει πληροφορίες σχετικά με τη κάμερα λήψης, καθώς μπορεί να εκτιμήσει τα στοιχεία της κάμερας βάσει της φωτογραφίας. Οι ιδιότητες του προγράμματος και η μη απαίτηση χρήσης αξόνων για το calibration, επέτρεψε στους χρήστες να μοντελοποιήσουν σχεδόν τα πάντα από φωτογραφίες.

Συγκεκριμένα, για τον αυτοκινητιστικό τομέα, υπήρξαν ανά καιρούς διάφορες τεχνικές παρουσιάσεις, χωρίς βέβαια να υπάρχει ιδιαίτερη εξήγηση γύρω από ορισμένες επιλογές, όπως για παράδειγμα τα κριτήρια για την επιλογή θέσης των σημείων αναφοράς (locators), την επιλογή εικόνων, τον αριθμό των απαιτούμενων σημείων αναφοράς αλληλά και των εικόνων κ.ο.κ.. Ωστόσο, αποτέλεσαν ένα καλό πρώτο βήμα για κάποιον που θα ήθελε να ξεκινήσει να πειραματίζεται με την διαδικασία αυτή. Πιο συγκεκριμένα, ένας χρήστης του Youtube, με όνομα καναλιού "Maksym Znonovskiy", δημιούργησε μια σειρά βίντεο, στα οποία δείχνει την δική του προσέγγιση ως προς την βαθμονόμηση των καμερών με στόχο την μοντελοποίηση του GMC Sierra Concept του 2011. Οι εικόνες 2.15 και 2.16 αποτελούν στιγμιότυπα από τα βίντεο, που δείχνουν την διαδικασία τοποθέτησης των σημείων αναφοράς (locators - μητε σημεία) επάνω στις διαφορετικές εικόνες του αυτοκινήτου αυτού για την επιτυχή αντιστοίχιση τους, ως προς την θέση τους από φωτογραφία σε φωτογραφία, η οποία θα οδηγήσει σε μια δημιουργία σημείων στο χώρο.

Αξίζει να σημειωθεί πως η τοποθέτηση των locators πάνω στις φωτογραφίες, ως διαδικασία, θα μπορούσε να θεωρηθεί χειροκίνητη τριγωνοποίηση, καθώς ύστερα από την αντιστοίχιση του κάθε locator από φωτογραφία σε φωτογραφία, οι locators αποτελούν σημεία στο χώρο, τα οποία ανταποκρίνονται στις πραγματικές διαστάσεις του αντικειμένου.

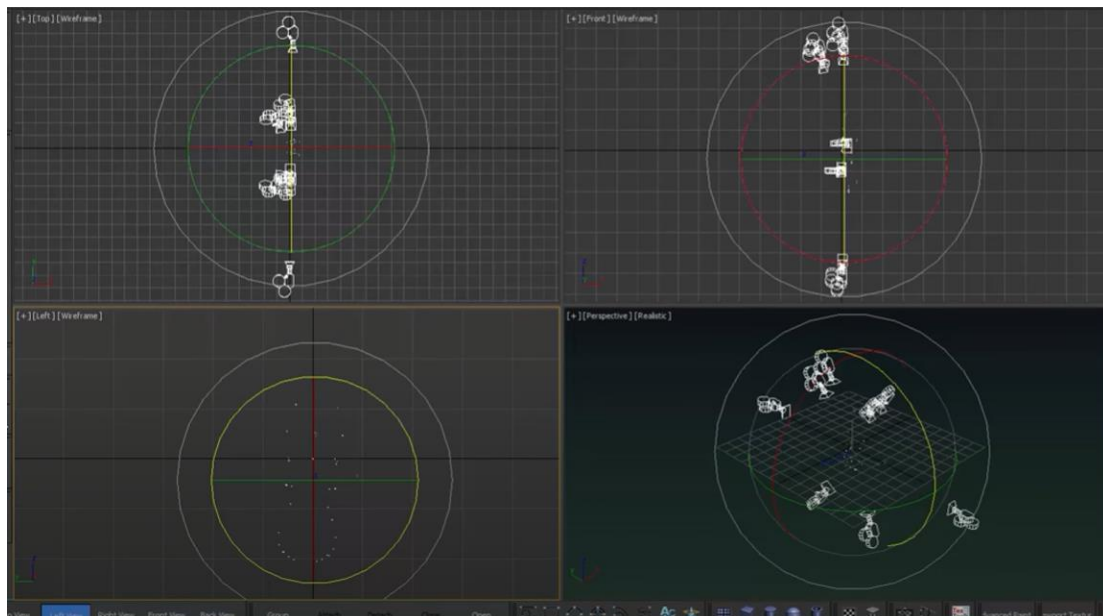


Εικόνα 2.15 : τοποθέτηση των locators πάνω στην φωτογραφία του πραγματικού αυτοκινήτου

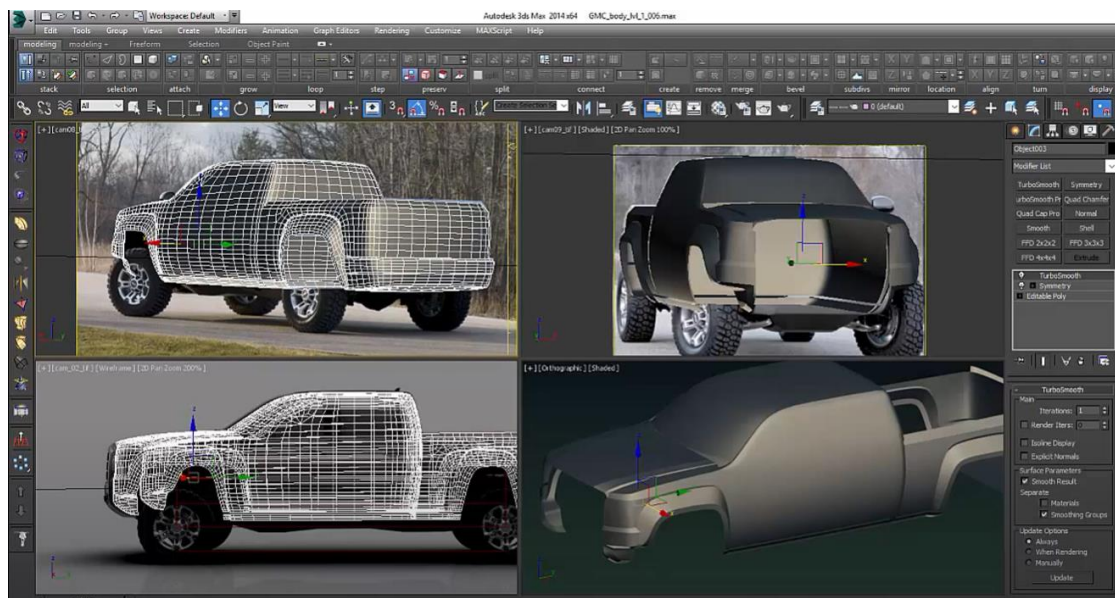


Εικόνα 2.16 : τοποθέτηση των locators και σε άλλη μια φωτογραφία, ώστε η τοποθεσία του κάθε locator στον χώρο να είναι σωστή.

Τα κριτήρια τοποθέτησης των locators επάνω σε κάθε φωτογραφία είναι άγνωστα, ωστόσο μια εικασία που θα μπορούσε να γίνει, είναι το ότι αποτελούν εμφανή σημεία τα οποία μπορούν να αναγνωριστούν από φωτογραφία, όπως κάποια γωνία, ακμή, κάποια ευδιάκριτη αρχή και τέλος κάποιας φόρμας κ.ο.κ. . Ο τρόπος τοποθέτησης τους επηρεάζει άμεσα και την ακρίβεια των locators όσον αφορά την θέση τους στο χώρο, καθώς και την ακρίβεια των καμερών ως προς την βαθμονόμηση τους. Στην εικόνα 2.17, βλέπουμε το περιβάλλον τρισδιάστατης μοντελοποίησης του 3ds Max, στο οποίο έχει εισαχθεί η σκηνή που δημιουργήθηκε από το ImageModeler, η οποία περιλαμβάνει μια σειρά καμερών, οι οποίες περιτριφυρίζουν μια σειρά σημείων, που φαίνονται στο κάτω αριστερό τμήμα της εικόνας. Τα σημεία αυτά, είναι οι locators που αντιστοιχήθηκαν νωρίτερα, από εικόνα σε εικόνα.



Εικόνα 2.17 : Η συλλογή σημείων αναφοράς (locators), καθώς και τα μοντέλα καμερών που προέκυψαν από την αντιστοίχιση των locators, πλέον βρίσκονται στο περιβάλλον μοντελοποίησης του 3ds Max.



Εικόνα 2.18 : Μοντελοποίηση του GMC Sierra Concept μέσα από την οπτική των καμερών που δημιουργήθηκαν στο περιβάλλον του ImageModeler, στο 3ds Max.

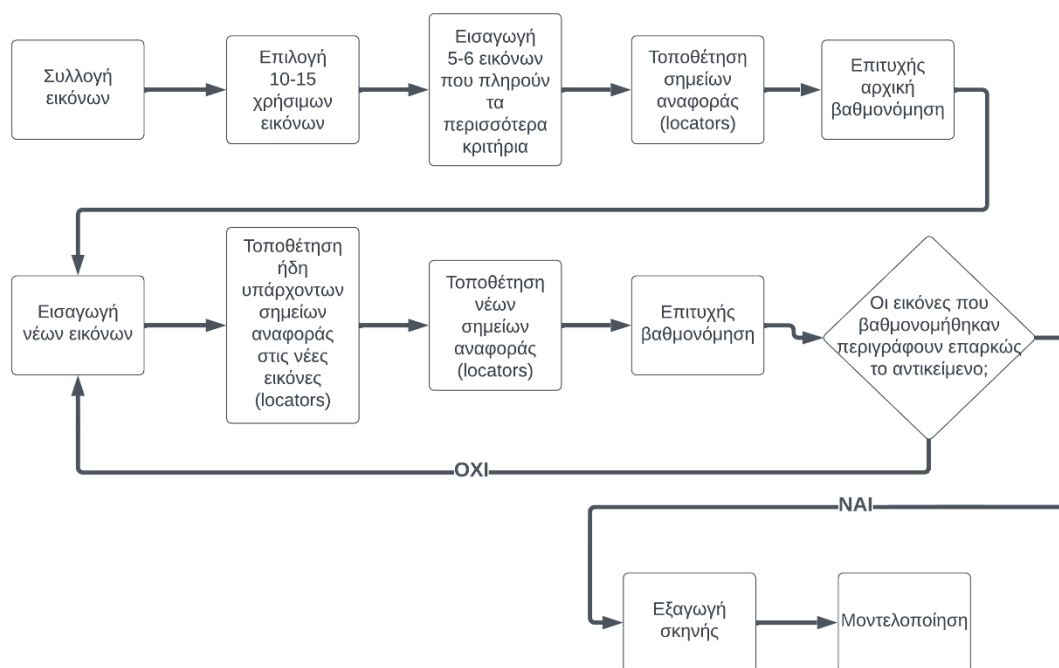
Μοντελοποιώντας μέσα από την οπτική των καμερών που βρίσκονται πλέον στην σκηνή του 3ds Max, μπορεί κανείς να μοντελοποιήσει το θέμα που έχει επιλέξει, έχοντας ως μέτρο σύγκρισης τα σημεία που έχουν δημιουργηθεί καθώς και τις εικόνες που επέλεξε για την βαθμονόμηση των καμερών. Θα χρειαστεί να χρησιμοποιήσει την κάθε εικόνα που αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο μοντέλο κάμερας από αυτά που πλέον υπάρχουν στον χώρο ως εικόνα παρασκηνίου, για να μπορέσει να ελέγξει την πιστότητα της επιφάνειας που δημιουργεί στο περιβάλλον μοντελοποίησης, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.18.

## 2.4 Ενίθουγή πιθανής προσέγγισης

Γνωρίζοντας την ιδιαιτερότητα του προβλήματος, και διαβάζοντας το έργο του K. Kwiatek με τίτλο "3D degree film brings bombed church to life"[8] όπως και το έργο του S. Baricevic και I. Zizic με τίτλο "3D modeliranje i generiranje oblaka točaka romosu"[9] όπου κάνουν αναφορές στην χρήση του Autodesk Imagemodeler, καθώς και διάφορα tutorials όπως αυτά του Maksym Znonovskiy, δημιουργήθηκε το συμπέρασμα πως η χρήση του Autodesk Imagemodeler είναι μονόδρομος. Όχι μόνο μπορεί να συνδυάσει μια πιθανή κάμερα στην ίδια σκηνή (και όχι 1 κάμερα ανά σκηνή όπως το FSrg) αλλά παράλληλα μπορεί να δημιουργήσει βαθμονομημένα μοντέλα κάμερών χωρίς να είναι απαραίτητο το θέμα να αποτελείται από στερεά όπως κυβοί, ορθογώνια, όπου οι κατακόρυφες και οριζόντιες τους γραμμές είναι ξεκάθαρες. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, η βαθμονόμηση και η μοντελοποίηση πρέπει να εφαρμοστούν σε ένα αυτοκίνητο της δεκαετίας του '60, το οποίο δεν αποτελείται από βασικά στερεά αλλά από έντονα οργανικές φόρμες, ενώ παράλληλα οι φωτογραφίες που είναι διαθέσιμες, αποτελούνται από σχεδόν διαφορετικά χαρακτηριστικά κάμερας, καθώς είναι ελάχιστες, αυτές οι φωτογραφίες που δείχνουν να κατάγονται από κάποια συγκεκριμένη φωτογράφιση που έλαβε χώρα σε κάποια συγκεκριμένη μέρα και συγκεκριμένο τόπο. Το λογισμικό αυτό, φαίνεται ικανό ως προς την βαθμονόμηση των κάμερών, ενώ παράλληλα τα σημεία αναφοράς που δημιουργούν οι locators στον χώρο, προσθέτουν άλλο ένα θετικό στοιχείο στην όλη διαδικασία, καθώς υπάρχει η δυνατότητα "ελέγχου" πιστότητας της μοντελοποίησης, με γνώμονα τα στοιχεία αυτά στον χώρο, εάν φυσικά θεωρήσουμε πως είναι τοποθετημένα σωστά.

### 3 - Εκκίνηση της διαδικασίας της τρισδιάστατης επαναδημιουργίας του αυτοκινήτου με την χρήση του Image Modeler

Για την περίπτωση της Aston Martin DB4 Zagato με αριθμό σασί 0200/R που αποτελεί την περίπτωση παραδείγματος της διηλεκτρικής συλλήψεως συνολικά 71 εικόνες, οι οποίες ανήκουν κυρίως σε 3 ηηγές : Ένα μικρό ντοκιμαντέρ με τίτλο "The Aston Martin Zagato story", το οποίο διηγείται την ιστορία της ιστορικής αυτής συνεργασίας μεταξύ της Aston Martin και του οίκου Zagato, η οποία ξεκίνησε με την δημιουργία της DB4 Zagato, η ιστοσελίδα "scalexsite.free.fr" η οποία γυρνά ύρω από τον μοντελισμό αυτοκινήτων αγώνων slot (slot cars) η οποία έχει μια σελίδα αφιερωμένη για κάθε ξεχωριστό σασί της Aston Martin DB4 και DB4 Zagato (<http://scalexsite.free.fr/divers/db4gt/>) καθώς και την σελίδα της συλλογής της Aston Martin Heritage Trust (<https://amht.collectionsindex.com/home>), η οποία είναι γεμάτη με φωτογραφικό υλικό αγώνων και μη από τις περισσότερες Aston Martin που έχουν υπάρξει μέχρι στιγμής. Ψτερα από την συλλογή των εικόνων, ακοιουθεί μια διαδικασία "σταχυοθήγησης" με σκοπό την επιλογή εικόνων οι οποίες ηηρούν τα κριτήρια επιλογής. Έπειτα, ξεκινά η βαθμονόμηση της σκηνής στο περιβάλλον του Image Modeler, όπου αφού επιτευχθεί, ξεκινά η τρισδιάστατη μοντελοποίηση του αυτοκινήτου, η οποία θα πραγματοποιηθεί με γνώμονα τις εικόνες που εισήχθησαν στο λογισμικό Image Modeler. Η διαδικασία αυτή αναφέρεται συνοπτικά και στο διάγραμμα της εικόνας 3.0.



Εικόνα 3.0 : Συνοπτικό διάγραμμα ροής της διαδικασίας βαθμονόμησης

### 3.1 Κριτήρια επιλογής φωτογραφιών για την δημιουργία της βαθμονομημένης σκηνής

Επειδή είναι γνωστό πως το αυτοκίνητο αυτό έχει δεχθεί αλλαγές σε μέρη του αμαξώματος του, πρέπει να γίνει η επιλογή γύρω από το ποια από τις τρεις διαφοροποιήσεις του θα ανακατασκευαστεί, ώστε να γίνει η σωστή επιλογή των φωτογραφιών. Οι τρεις επιλογές που υπάρχουν είναι: (α) η έκδοση και η μορφή όταν το αυτοκίνητο παρουσιάστηκε για πρώτη φορά στην έκθεση του Λονδίνου το 1960 (εικόνα 3.1), (β) η έκδοση και η μορφή που πήρε όταν μετατράπηκε σε εργοστασιακό αγωνιστικό και έτρεξε στο Le Mans του 1962 (εικόνα 3.2) και τέλος, (γ) η μορφή που πήρε από τρίτους, με αρκετά φαρδύτερα φτερά εμπρός και πίσω (εικόνα 3.3). Σύμφωνα με μια άληθη ηγή, το βιβλίο της Palawan γύρω από την Aston Martin DB4 GT, το αυτοκίνητο αυτό υπέστη κάποιου είδους ατύχημα το 1965, όπου το βλέπουμε 2 χρόνια μετά το ατύχημα να είναι βαμμένο σε κόκκινο χρώμα καθώς και με τις εμφανείς μετατροπές στα εμπρόσθια φτερά. Να σημειωθεί πως σε σχέση με το σήμερα, το αυτοκίνητο αυτό, πριν τις μετατροπές που δέχθηκε από τρίτους, δεν είχε υποστεί καμία μετατροπή στο εμπρός μέρος και στο πίσω μέρος του. Έχοντας αυτές τις 3 επιλογές διαθέσιμες, επιλέχθηκε η επιλογή (α) για την ψηφιακή επαναδημιουργία του σχήματος του αυτοκινήτου αυτού (εικόνα 3.1) καθώς είναι η πιο πρώιμη μορφή του αυτοκινήτου αυτού.



Εικόνα 3.1 : Η Aston Martin DB4 GT Zagato με αριθμό σασί 0200/R όταν πρωτοπαρουσιάστηκε στην έκθεση του Λονδίνου το 1960.



Εικόνα 3.2 : Η Aston Martin DB4 GT Zagato με αριθμό σασί 0200/R με τις μετατροπές που δέχθηκε (ελαφρώς φαρδύτερο φτερό πίσω, εισαγωγή αέρα κάτω από την γρίλια εμπρός) για τον αγώνα του Le Mans του 1962.



Εικόνα 3.3 : Η Aston Martin DB4 GT Zagato με αριθμό σασί 0200/R με τις μετατροπές που ακολούθησαν αργότερα από τρίτους, όπως το αρκετά φαρδύτερο πίσω και εμπρός φτερό και το διαφορετικό καπό.



*The car at AMOC's Fort Belvedere event in 1967.  
It was painted red after the 1965 accident. (Brian Joscelyne)*

Εικόνα 3.3 : Η Aston Martin DB4 GT Zagato με αριθμό σασί 0200/R υπέστη κάποιου είδους ατύχημα το 1965, σύμφωνα με το βιβλίο της Palawan.



Για την επιλογή των φωτογραφιών, σε αρχικό στάδιο, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν εικόνες οι οποίες δεν θα δυσκολέψουν πολύ το λογισμικό στο να καταλάβει τα στοιχεία που του δίνουμε (σημεία αναφοράς - locators) από εικόνα σε εικόνα, καθώς αυτά είναι που θα καθορίσουν την ποιότητα της βαθμονόμησης. Επομένως, οι εικόνες θα πρέπει να τηρούν μερικούς κανόνες, όπου τυγχάνει να ισχύουν και ως απαιτήσεις-περιορισμοί για την διαδικασία της φωτογραμμετρίας.

- Οι εικόνες αυτές θα πρέπει να συμπεριλαμβάνουν ολόκληρο το θέμα μέσα τους, χωρίς το θέμα να "διακόπτεται" από τα όρια της φωτογραφίας (εικόνα 3.4). Ωστόσο, οι "κομμένες" εικόνες μπορεί να είναι χρήσιμες έπειτα από μια επιτυχή βαθμονόμηση από τις εικόνες που πληρούν τους κανόνες.
- Οι εικόνες δεν πρέπει να είναι ιδιαίτερα κοντινές, καθώς υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να έχουν ελάχιστη έως και καθόλου παραμόρφωση λόγω του φακού, το οποίο είναι επιθυμητό ως χαρακτηριστικό καθώς διευκολύνουν το λογισμικό ως προς την δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου της κάμερας καθώς και των σημείων αναφοράς (locators)[10].
- Οι εικόνες πρέπει να επιλέγονται με βάση το πόσο καθαρά φαίνονται ορισμένα στοιχεία του αυτοκινήτου τα οποία μπορούν να αποτελέσουν σημεία τοποθέτησης των σημείων αναφοράς (locators). Τα σημεία αυτά, μπορούν να εντολιστούν έπειτα από μια σύντομη ανάληψη των εικόνων του αυτοκινήτου. Για να θεωρηθεί ένα στοιχείο της εικόνας κατάλληλο για τοποθέτηση σημείου αναφοράς (locator), θα πρέπει να είναι εύκολα αναγνωρίσιμο από εικόνα σε εικόνα. Μερικά παραδείγματα αυτών, θα μπορούσαν να είναι, όπως φαίνονται στην εικόνα 3.6 : με μπλε χρώμα, η αρχή και το τέλος του ηλαϊνού διακοσμητικού στοιχείου, με κίτρινο χρώμα το σημείο του μεταλλικού trim που ξεκινά από το κάτω μέρος του A-pillar, το κάτω μέρος του B-pillar, καθώς και το πάνω μέρος του B-pillar το οποίο τέμνεται με το μεταλλικό trim που ξεκινά από το A-pillar. Α, Β, Γ και D pillars λέγονται οι κοιλότητες ενός αυτοκινήτου, οι οποίες στηρίζουν την οροφή (εικόνα 3.8). Έπειτα, έχουμε με κόκκινο χρώμα την ακμή-μύτη των εμπρόσθιων φιάς, με τριγωνικές τις ακμές του μικρού μεταλλικού τριγώνου που βρίσκονται στην βάση του δεξιού διάφανου καλύμματος των φωτιστικών σωμάτων και τέλος με πορτοκαλί τις ξεκάθαρες ακμές του σήματος της Aston Martin. Φυσικά, τα πιθανά σημεία στο αμάξωμα ενός αυτοκινήτου για την τοποθέτηση σημείων αναφοράς (locators) αλληλόζωνοι ριζικά από αυτοκίνητο σε αυτοκίνητο. Στην εικόνα 3.7, αποτυπώνεται μια προσάθεια σημείωσης των σημείων αυτών με μπλε κουκκίδες, πάνω σε μια φωτογραφία του Audi Quattro Concept του 2010. Τα σημεία είναι αρκετά πιο ευδιάκριτα, και μάλιστα λόγω των ακμών του σχήματος του αμαξώματος, υπάρχουν περισσότερα κατάλληλα σημεία για τοποθέτηση σημείων αναφοράς (locators).
- Οι εικόνες θα πρέπει να παρουσιάζουν το αυτοκίνητο από διαφορετικές οπτικές γωνίες, ώστε να υπάρχουν περισσότερα δεδομένα για την ακριβέστερη δυνατή μοντελοποίηση του.

Επομένως, η αρχική ομάδα εικόνων, οι οποίες θα είναι 6 καθαρά για την αρχική διευκόλυνση ως προς την βαθμονόμηση, θα πρέπει να συμπεριλαμβάνουν όσα περισσότερα πιθανά σημεία αναφοράς γίνεται, καθώς θα πρέπει να τα αντιστοιχήσουμε χειροκίνητα. Επίσης, θα πρέπει και οι 6 εικόνες να συμπεριλαμβάνουν ολόκληρο το αυτοκίνητο, και σε αυτό το στάδιο, με την λιγότερη δυνατή παραμόρφωση, εάν υπάρχουν (εικόνες τραβηγμένες μακριά από το αυτοκίνητο). Ιδανικά, οι εικόνες θα ήταν καλό να προέρχονται από την εποχή όπου το αυτοκίνητο δεν είχε μετατραπεί ακόμη σε αγωνιστικό, ή ήταν αγωνιστικό της εταιρείας (πριν δεχτεί μετατροπές από τρίτους, καθώς όπως προαναφέρθηκε, δεν είναι ακριβώς ξεκάθαρο μέχρι που επεκτείνονται οι μετατροπές αυτές).



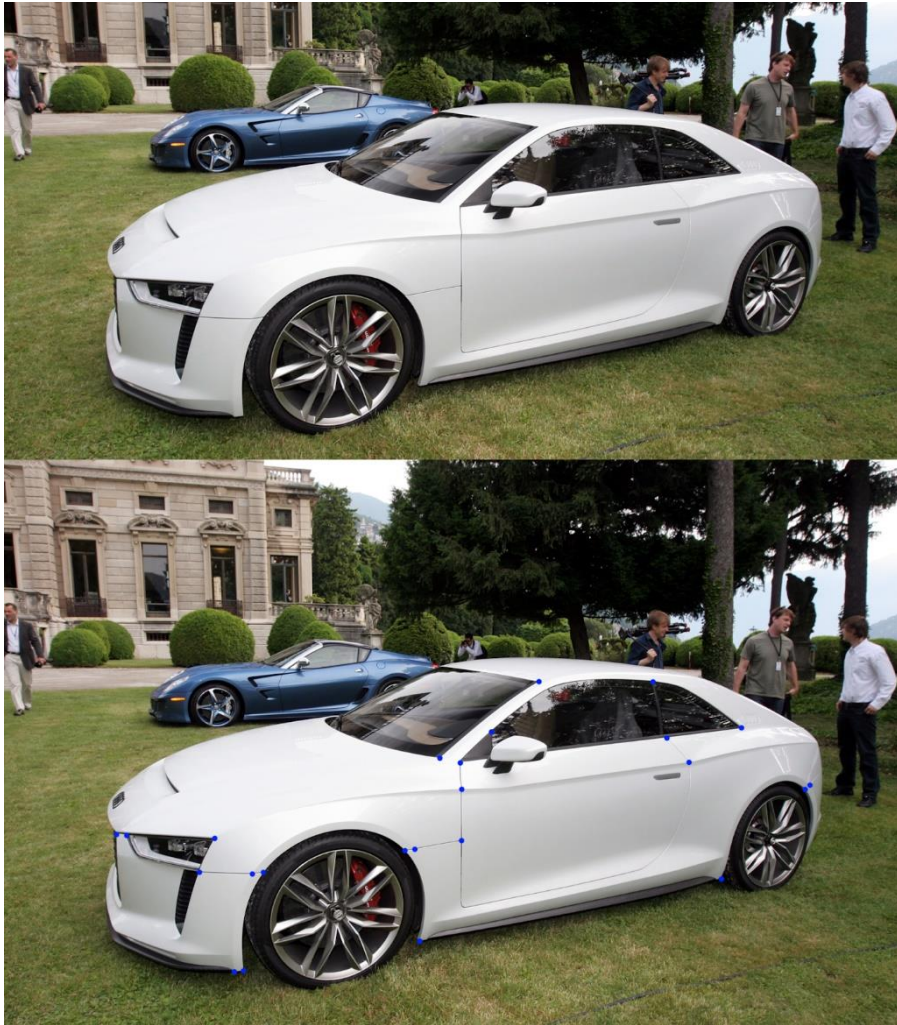
Εικόνα 3.4 : Στην εικόνα αυτή, το αυτοκίνητο δεν φαίνεται ξεκάθαρα καθώς ένα κομμάτι του στα δεξιά της εικόνας, “κόβεται” από τα όρια της εικόνας.



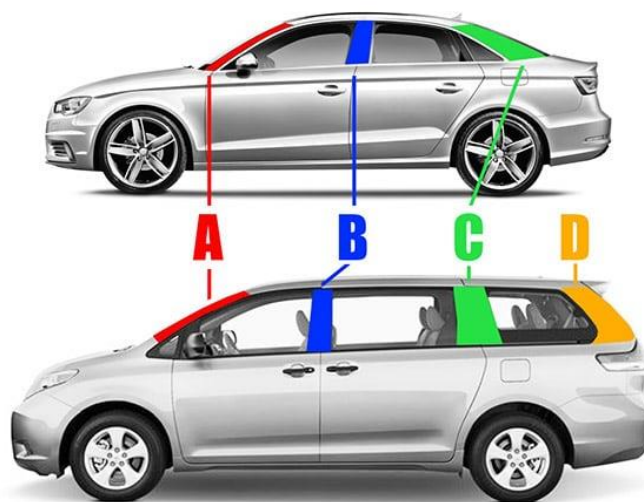
Εικόνα 3.5 : Στις 2 αυτές εικόνες, υπάρχουν στοιχεία τα οποία μπορούν να σημειωθούν ως σημεία αναφοράς, καθώς είναι ξεκάθαρη η θέση τους πάνω στο αυτοκίνητο.



Εικόνα 3.6 : Τα **μπλε**, **κίτρινα**, **πορτοκαλί**, **κόκκινα** και **πικουάζ** σημεία, τα οποία μπορούν να θεωρηθούν κατάλληλα για την εφαρμογή σημείων αναφοράς (locators) επάνω τους.



Εικόνα 3.7 : Ανάλογα με το αυτοκίνητο, τα κατάλληλα σημεία για εφαρμογή σημείων αναφοράς (κουκίδες μπλε χρώματος) μπορεί να διαφέρουν ριζικά ως προς τον αριθμό και την τοποθεσία τους.



Εικόνα 3.8 : ένα σχεδιάγραμμα που δείχνει ξεκάθαρα τις ξεχωριστές ονομασίες για κάθε κολώνα που διαθέτει ένα αυτοκίνητο.

## 3.2 Επιλογή των αρχικών 6 εικόνων

Έπειτα από μια ιδιαίτερα προσεκτική σταχυολόγηση, των 71 φωτογραφιών του αυτοκινήτου επιλέχθηκαν, με βάση τα παραπάνω κριτήρια, οι εξής φωτογραφίες : Εικόνα 3.9, Εικόνα 3.10, Εικόνα 3.11, Εικόνα 3.12 και Εικόνα 3.13. Όπως είναι προφανές, σε όλες τις εικόνες το αυτοκίνητο συμπεριλαμβάνεται ολόκληρο, και μάλιστα με αρκετά ευδιάκριτα σημεία κατάλληλα για τοποθέτηση σημείων αναφοράς (locators), όπως είναι οι μύτες των διάφανων μερών των φηλας κάτω από τα κύρια φωτιστικά σώματα, το ηλαϊνό διακοσμτικό μεταλλικό trim, το σήμα της Aston Martin, οι ψωνίες των ηλαισίων των παραθύρων και άηηλα. Επίσης, έγινε επιλογή εικόνων που αποτυπώνουν το αυτοκίνητο από ποηηές και διαφορετικές ψωνίες, οι οποίες καηύηουν σχεδόν το αυτοκίνητο γύρω γύρω.



Εικόνα 3.9



Εικόνα 3.10



Εικόνα 3.11



Εικόνα 3.12



Εικόνα 3.13



Εικόνα 3.14

### 3.3 Τοποθέτηση σημείων αναφοράς

Αφού η πρώτη σειρά φωτογραφιών επιλέχθηκε στο προηγούμενο στάδιο, ήρθε η ώρα να πραγματοποιηθεί η εισαγωγή τους στο περιβάλλον του ImageModeler για την δημιουργία βαθμονομημένων καμερών και σημείων αναφοράς στον χώρο.

Αξίζει να σημειωθεί πως η κάθε εικόνα αντιστοιχεί σε μία κάμερα, καθώς το λογισμικό προσπαθεί να δημιουργήσει ψηφιακά μοντέλα καμερών τα οποία ταυτίζονται με την κάθε εικόνα. Για παράδειγμα, εάν βαθμονομηθεί μια σκηνή 11 εικόνων, θα έχει κάποιος στα χέρια του 11 κάμερες που η κάθε κάμερα θα αντιστοιχεί σε μια και μόνο εικόνα από τις 11.

Οι εικόνες βρίσκονται πλέον στο περιβάλλον του ImageModeler, πράγμα που σημαίνει πως η διαδικασία τοποθέτησης σημείων αναφοράς μπορεί να ξεκινήσει. Επιλέγεται ένα πρώτο ευδιάκριτο σημείο και βάσει αυτού ξεκινά η διαδικασία αντιστοίχισης του μεταξύ των εικόνων. Στην περίπτωση του παραδείγματος επιλέγεται για, "αρχή" το μεταλλικό διακοσμητικό στοιχείο που βρίσκεται στην δεξιά πλευρά του αυτοκινήτου, (εικόνα 3.19),.

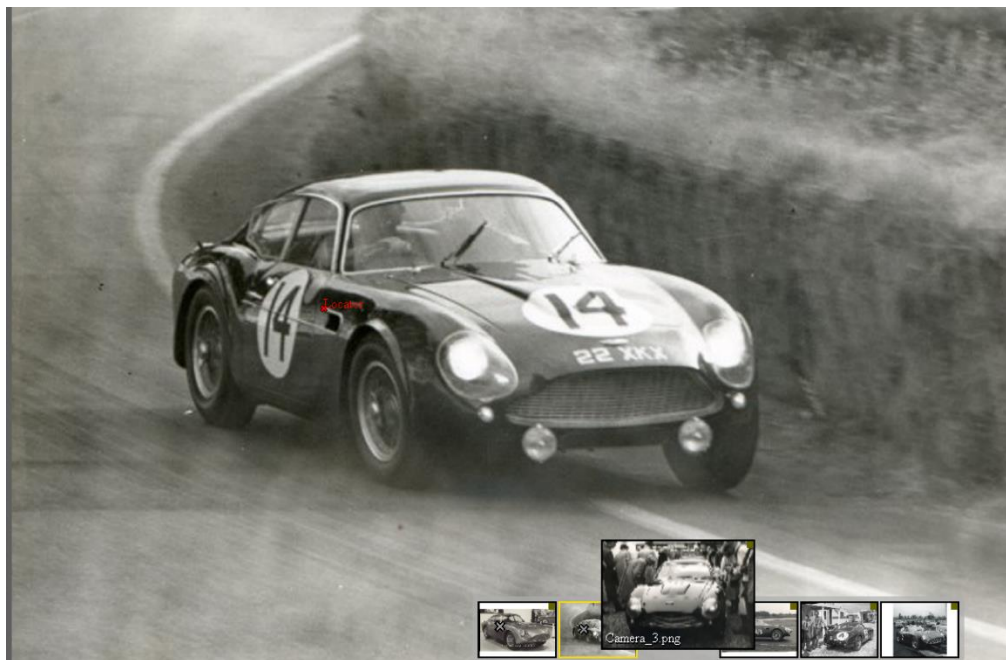
Έπειτα από την αντιστοίχιση σημείων από εικόνα σε εικόνα, (όπως είχε αναλυθεί στο υποκεφάλαιο "Επιλογή των 6 αρχικών εικόνων") η αρχική βαθμονόμηση των πρώτων 6 εικόνων έφτασε στο σημείο που διακρίνεται στην εικόνα 3.20.

Ωστόσο, απαιτούνται ορισμένες διορθώσεις. Οι πορτοκαλί ακτίνες στην εικόνα 3.21,) έχουν δημιουργηθεί από την τοποθέτηση του ίδιου σημείου στις υπόλοιπες φωτογραφίες και τέμνονται στο σημείο αναφοράς. Εάν υπάρχει απόκλιση του σημείου τομής από το σημείο αναφοράς απαιτείται χειροκίνητη διόρθωση ώστε τα σημεία να ταυτιστούν, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.22. Σε διαφορετική περίπτωση το λογισμικό ενημερώνει για την επιτυχία της βαθμονόμησης (εικόνα 3.23). Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλα τα σημεία αναφοράς. Φυσικά, θα πρέπει πάντα να προσέχουμε την τοποθέτηση των σημείων, καθώς εάν το λογισμικό μας δείχνει ότι η τομή των πορτοκαλί ακτινών βρίσκεται σε σημείο μακριά από εκεί που θέλουμε να τέμνονται, πχ σε κάποιο μορφολογικό χαρακτηριστικό του αυτοκινήτου, πρέπει να γίνουν αλλαγές στην θέση του συγκεκριμένου σημείου αναφοράς στις φωτογραφίες που έχει ήδη τοποθετηθεί. Για παράδειγμα, σε μια από τις 2 ακμές του εμβληματος της Aston Martin στο εμπρός

της μέρος έχουν τοποθετηθεί σημεία αναφοράς σε άλλες φωτογραφίες, και στην εικόνα 3.24, η πορτοκαλί ακτίνα περνά ακριβώς μέσα από την ακμή του εμβλήματος.



Εικόνα 3.17 : Τοποθέτηση του πρώτου σημείου αναφοράς.



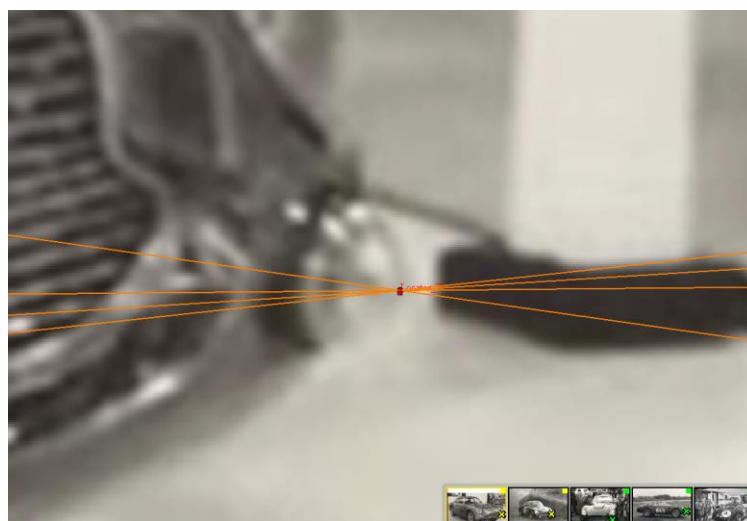
Εικόνα 3.18 : Αντιστοίχιση του πρώτου σημείου αναφοράς και σε άλλη εικόνα.



Εικόνα 3.19 : Αφού το σημείο τοποθετήθηκε σε όλες τις εικόνες που ήταν ξεκάθαρη η θέση του, ξεκίνησε η αντιστοίχιση του επόμενου σημείου.

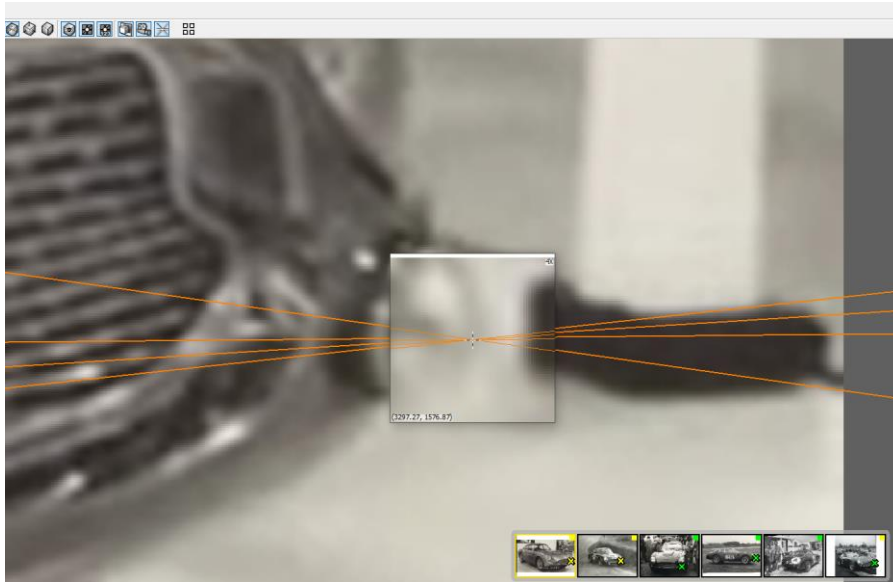


Εικόνα 3.20 : Έπειτα από την τοποθέτηση των πρώτων ευδιάκριτων σημείων, το λογισμικό έχει δημιουργήσει μερικές σχετικά βαθμονομημένες κάμερες.

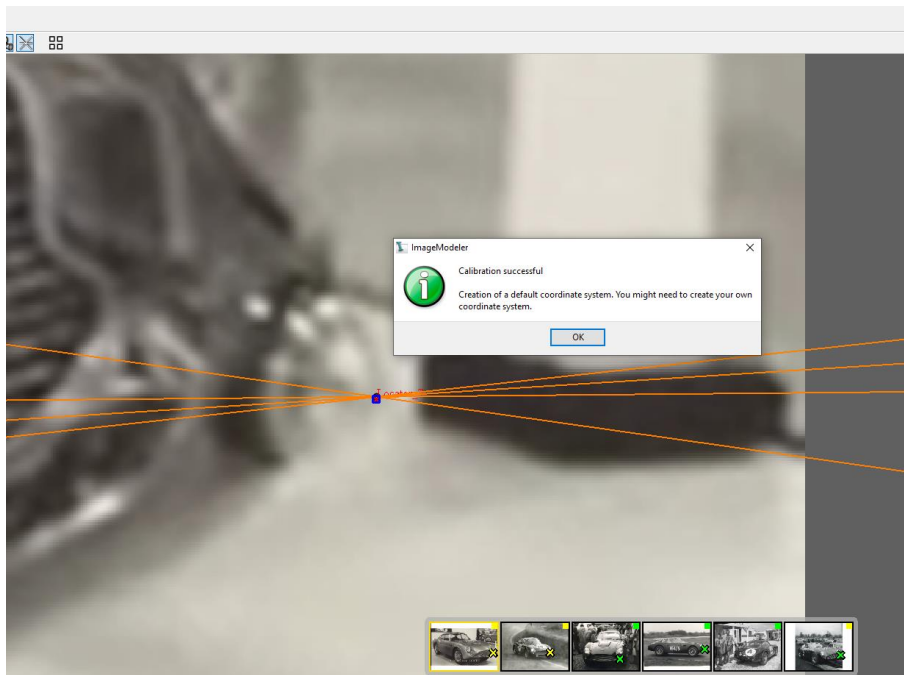


Εικόνα 3.21 : Η απόκλιση από την σωστή θέση του σημείου, η οποία έχει προκύψει από τις υπόλοιπες φωτογραφίες, είναι εμφανής.

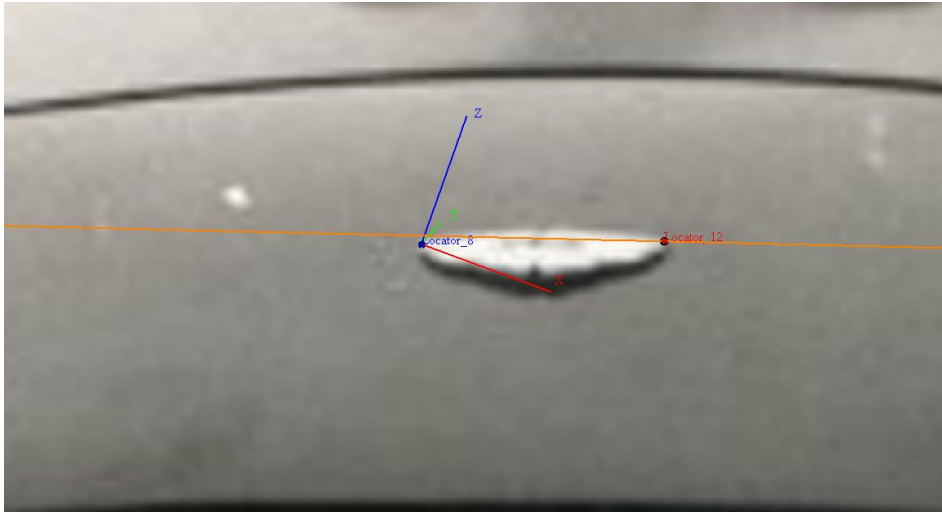




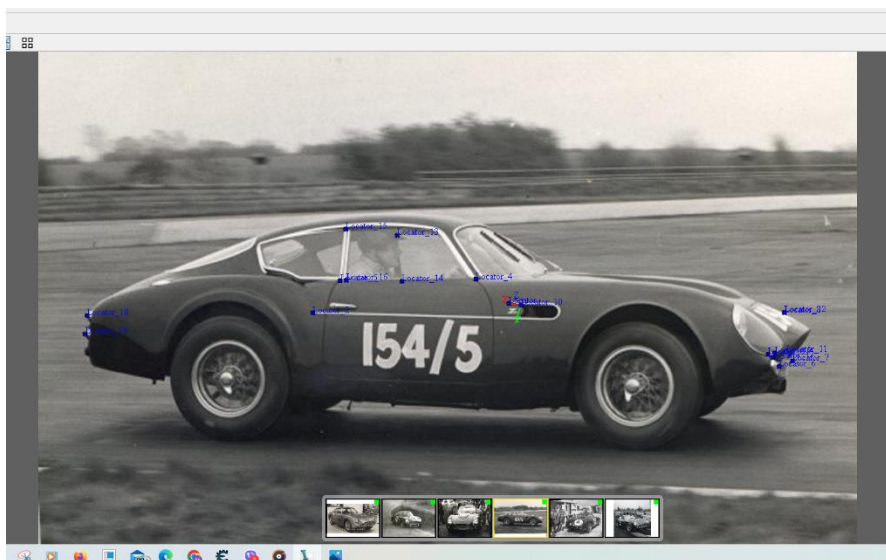
Εικόνα 3.22 : Μετακίνηση του σημείου ώστε να ακουμπάει πάνω στο σημείο όπου τέμνονται οι πορτοκαλί ακτίνες.



Εικόνα 3.23 : Το λογισμικό μας ενημερώνει πως το σημείο πλέον βρίσκεται στην σωστή θέση.



Εικόνα 3.24 : Τοποθέτηση σημείων αναφοράς πάνω στις ακμές του εμβλήματος της Aston Martin.



Εικόνα 3.25 : Ύστερα από ορισμένες μικρές αλλαγές της θέσης των σημείων, οι ενδείξεις για την ποιότητα της βαθμονόμησης έγιναν πράσινες.

### 3.4 Προσθήκη νέων εικόνων στην διαδικασία βαθμονόμησης

Αφού βρισκόμαστε σε ένα καλό σημείο όσον αφορά την βαθμονόμηση των καμερών-εικόνων στην εικόνα 3.25, ήρθε η ώρα να προσθέσουμε κι άλλες εικόνες, για να δημιουργήσουμε κι άλλες βαθμονομημένες κάμερες και να έχουμε περισσότερες οπτικές γωνίες που θα μας οδηγήσουν σε ένα ακριβέστερο μοντέλο. Οι εικόνες που προστέθηκαν είναι οι 3.26, 3.27, 3.28, 3.29, 3.30.



Εικόνα 3.26



Εικόνα 3.27



Εικόνα 3.28



Εικόνα 3.29



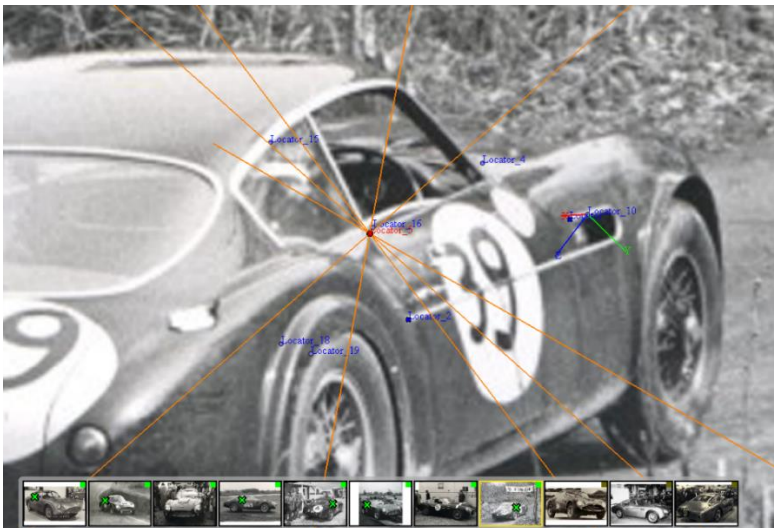
Εικόνα 3.30

### 3.5 Αντιστοίχιση ήδη υπάρχοντων σημείων αναφοράς στις νέες φωτογραφίες

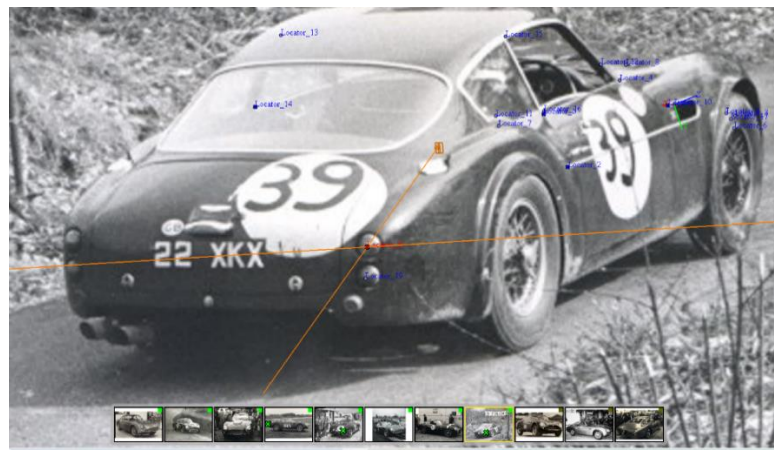
Εφόσον έχουμε μια σειρά εικόνων, στις οποίες έχουμε ορίσει σημεία αναφοράς, τα οποία ήταν αρκετά ώστε να βαθμονομήσουν μια σειρά καμερών, ξεκινά μια αντιστοίχιση, σε κάθε μια από αυτές τις νέες φωτογραφίες που προστέθηκαν, 3-4 υπάρχοντων σημείων αναφοράς από τις προϋπάρχουσες εικόνες στις νέες, τα οποία είναι αρκετά για να βαθμονομήσουν την κάθε νέα εικόνα-κάμερα. Βάζοντας τα πρώτα 2 σημεία αναφοράς, τα οποία φαίνονται στην εικόνα 3.31, δεν εμφανίζεται κανένα σημάδι βαθμονόμησης, δηλαδή τα υπόλοιπα σημεία αναφοράς από την προηγούμενη σειρά εικόνων δεν έχουν εμφανιστεί. Βάζοντας ένα ακόμη, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.32, τα υπόλοιπα σημεία, τα οποία εμφανίζονται ως κάποιες "τελείες" χωρίς ένα μικρό σύμβολο "x" επάνω τους, καθώς τα σημεία με ένα σύμβολο "x" επάνω τους είναι τα σημεία που έχουμε τοποθετήσει εμείς σε κάθε φωτογραφία, ενώ οι "τελείες" είναι οι θέσεις των locators που έχουν προκύψει από την τοποθέτηση σημείων "x" από εικόνα σε εικόνα. Στην εικόνα 3.32, τα σημεία που δεν έχουν τοποθετηθεί από τον χρήστη σε αυτή την εικόνα (συμβολίζονται με μηλε τελείες) βρίσκονται σχετικά εκτός θέσης, από εκεί που θα περίμενε κανείς να βρίσκονται πάνω στο αυτοκίνητο, όπως το locator 18 και 19, τα οποία θα έπρεπε να βρίσκονται στις "μύτες" των πίσω κωνικών φωτιστικών σωμάτων. Αυτό σημαίνει πως το λογισμικό είναι πιο κοντά στην βαθμονόμηση της εικόνας αυτής, αλλά δεν έχει βαθμονομηθεί ακόμα. Ωστόσο, με μια ακόμη τοποθέτηση σημείου (συμβολίζεται με ένα μικρό x), παρέχεται στο λογισμικό να καταλάβει το "βάθος" του αντικειμένου που βαθμονομείται στον χώρο, με αποτέλεσμα, τα υπόλοιπα σημεία που συμβολίζονται με τελείες να μπαίνουν ξαφνικά στην θέση που θα έπρεπε να είναι, χωρίς να χρειαστεί να τοποθετηθούν και άλλα σημεία "x", χειροκίνητα στην εικόνα 3.33.



Εικόνα 3.31 : η τοποθέτηση των πρώτων 2 σημείων δεν οδηγεί σε σωστή βαθμονόμηση (ακόμα).



Εικόνα 3.32 : η τοποθέτηση ενός ακόμη σημείου, βοηθά κάπως το πρόγραμμα να καταλάβει την τοποθέτηση των υπόλοιπων σημείων στην εικόνα, αλλά όχι ακριβώς.



Εικόνα 3.33 : με την τοποθέτηση ενός ακόμη σημείου, τα υπόλοιπα σημεία αναφοράς (locators) ξαφνικά παίρνουν την θέση που θα έπρεπε.

### 3.6 Προσθήκη νέων εικόνων στην διαδικασία βαθμονόμησης

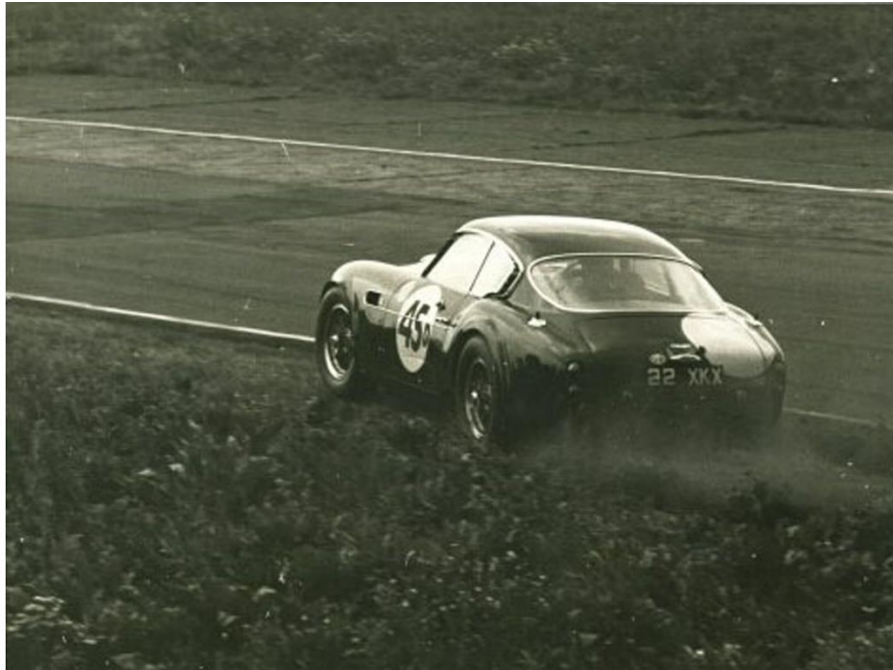
Αφού επαναλάβουμε αυτού του τύπου την τοποθέτηση για όλες τις υπόλοιπες (νέες) εικόνες, ήρθε η ώρα να προσθέσουμε κι άλλες εικόνες για βαθμονόμηση, οι οποίες, αυτή την φορά, θα μας δείχνουν περισσότερο την αριστερή πλευρά του αυτοκινήτου. Είναι σημαντικό να προσθέσουμε σημεία γύρω από όλο το αυτοκίνητο, καθώς βοηθάμε σημαντικά το λογισμικό να καταλάβει την ακριβή, αναλογική τοποθεσία μεταξύ των σημείων στο χώρο. Οι εικόνες είναι οι 3.34, 3.35 και 3.36.



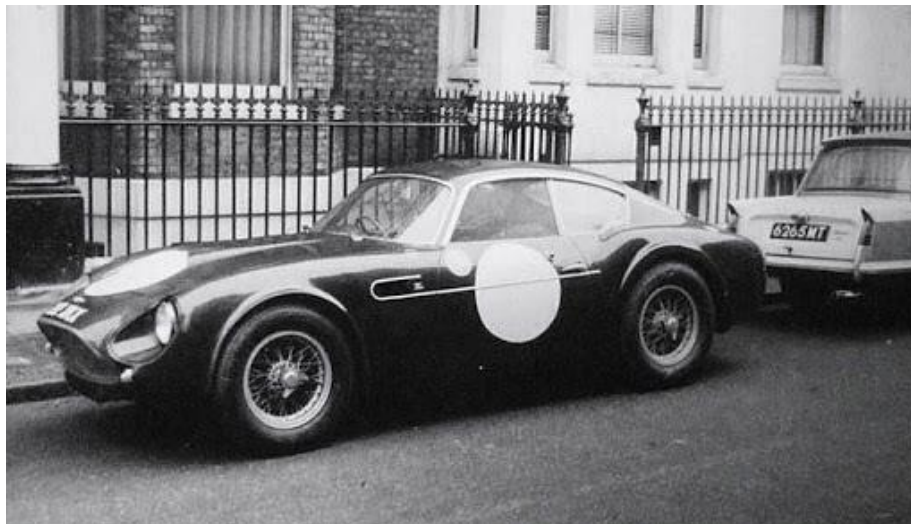
Εικόνα 3.34 : εικόνα 1/3 της αριστερής όψης του αυτοκινήτου.



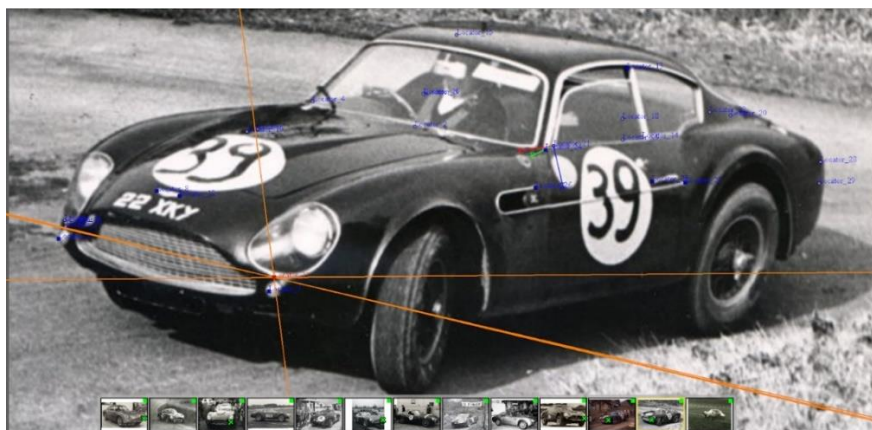
Εικόνα 3.35 : εικόνα 2/3 της αριστερής όψης του αυτοκινήτου.



Εικόνα 3.36 : εικόνα 3/3 της αριστερής όψης του αυτοκινήτου.



Εικόνα 3.37 : Προσθήκη αυτής της εικόνας του αυτοκινήτου στο λογισμικό Image Modeler για βαθμονόμηση.



Εικόνα 3.38 : Η τοποθέτηση 4-5 ήδη βαθμονομημένων σημείων αναφοράς στην κάθε νέα εικόνα μας οδήγησε στην επιτυχή βαθμονόμηση τους.

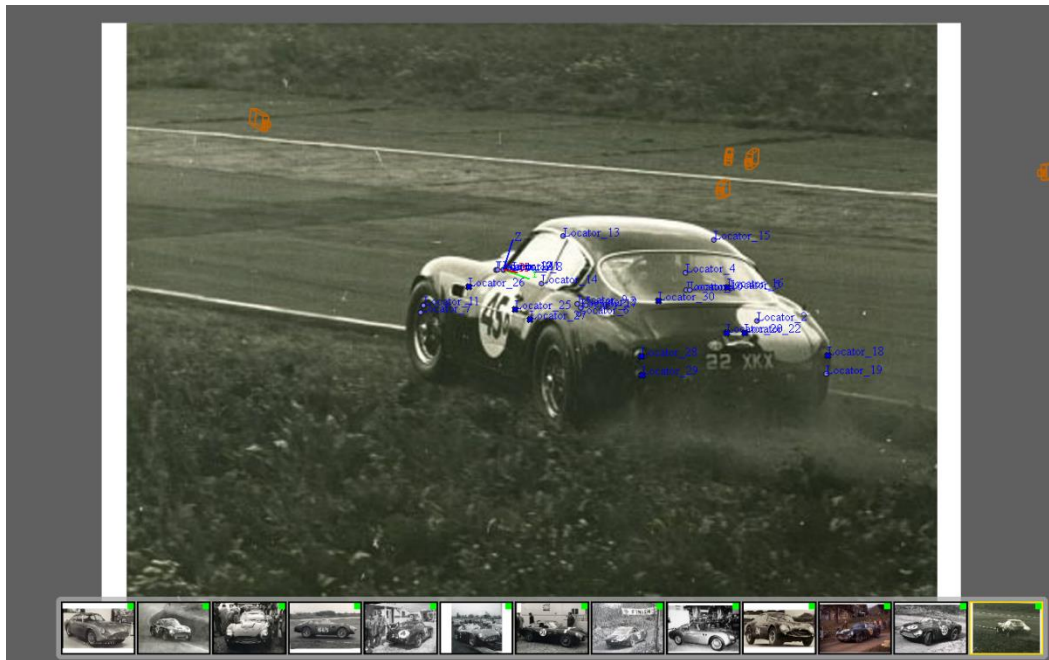


### 3.7 Τοποθέτηση νέων σημείων αναφοράς (locators)

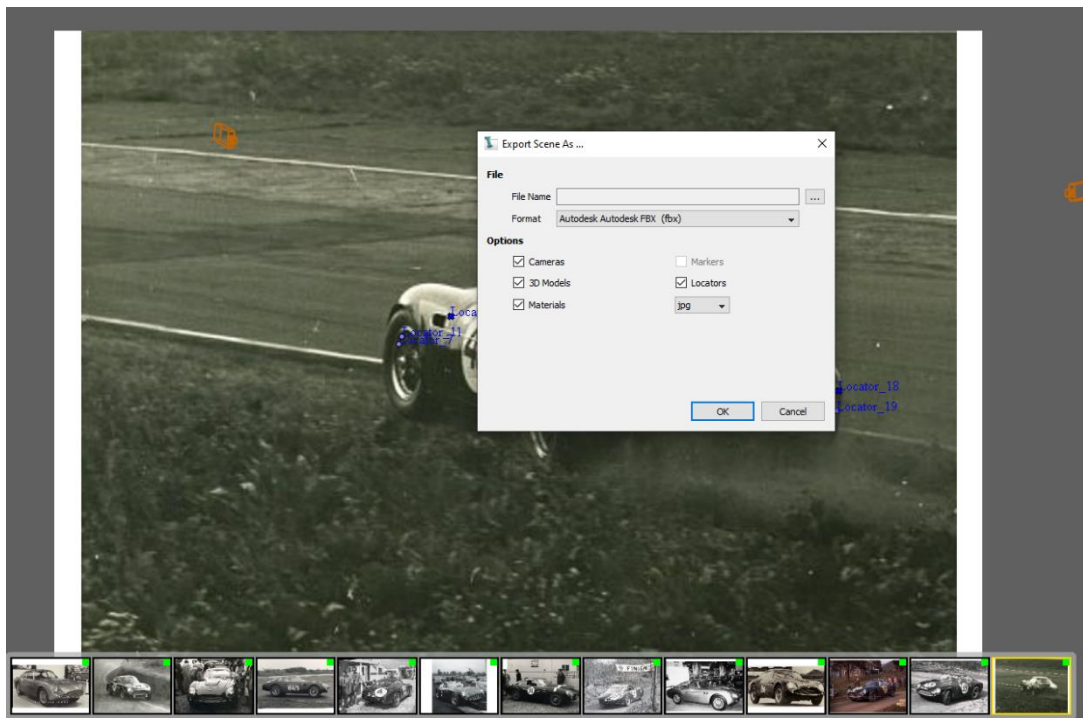
Εφόσον έχουμε βαθμονομήσει και τις 3 αυτές φωτογραφίες σωστά, προστίθενται μερικά νέα σημεία, τα οποία είναι διακριτά μόνο στις τελευταίες 3 εικόνες (3.34, 3.35 και 3.36), όπως για παράδειγμα η αρχή και το τέλος της μεταλλικής, διακοσμητικής "γραμμής" που βρίσκεται στην αριστερή πλευρά του αυτοκινήτου (εικόνα 3.37). Αξίζει να αναφερθεί, πως παρόλο που η ποιότητα των εικόνων είναι εξαιρετικά κακή (εικόνα 3.38), καθώς ασχολούμαστε με φωτογραφίες που έχουν μέσο όρο ηλικίας τα 60 έτη, εάν η τοποθέτηση σημείων αναφοράς γίνει σωστά, θα καταλήξουμε να έχουμε στα χέρια μας μια αρκετά καλή βαθμονομημένη σκηνή, έτοιμη να μας βοηθήσει να "ανακατασκευάσουμε" αυτό το χαμένο αμάξιμα.



Εικόνα 3.39 : Παρά την κακή ποιότητα ορισμένων φωτογραφιών, το λογισμικό προσφέρει ακριβείς "οδηγούς" για να τοποθετηθούν τα σημεία αναφοράς σωστά.



Εικόνα 3.40 : Έπειτα από μερικές μικρές αλλαγές της τοποθεσίας ορισμένων σημείων αναφοράς, η σκηνή μας είναι άριστα βαθμονομημένη.



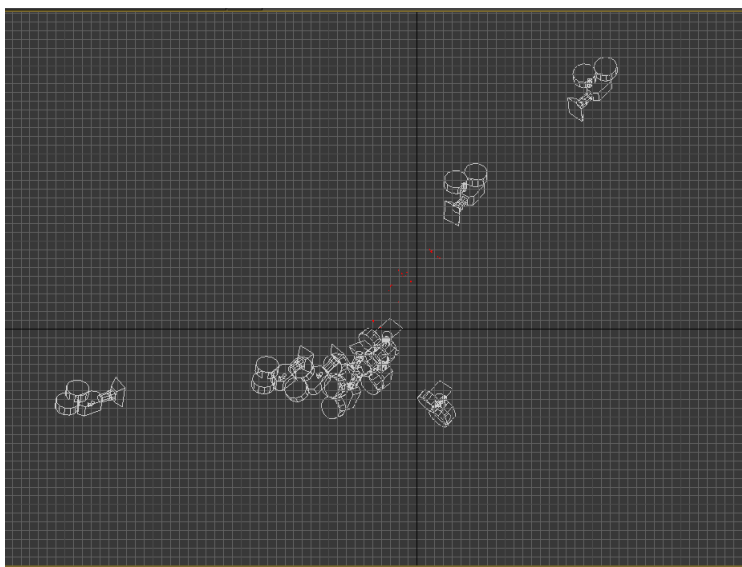
Εικόνα 3.41 : Εξαγωγή της σκηνής σε μορφή αρχείου .fbx για την έναρξη της μοντελοποίησης του αυτοκινήτου σε άλλο λογισμικό.

Οι εικόνες 3.26 ,3.27 ,3.28 αφαιρέθηκαν από το τελικό calibration λόγω έντονης παραμόρφωσης του φακού (αρκετά κοντινή λήψη του αυτοκινήτου). Ωστόσο, την θέση τους πήρε η εικόνα 3.37. Έχουμε φτάσει στο τέλος της διαδικασίας της βαθμονόμησης (εικόνα 3.39) και ήρθε η ώρα να προχωρήσουμε στο επόμενο στάδιο. Στην εικόνα 3.41, πραγματοποιείται η εξαγωγή της σκηνής που δημιουργήθηκε από το ImageModeler, για να συνεχιστεί η διαδικασία στο περιβάλλον μοντελοποίησης του 3D Studio Max. Συνολικά, έχουμε καταλήξει με 11 κάμερες.

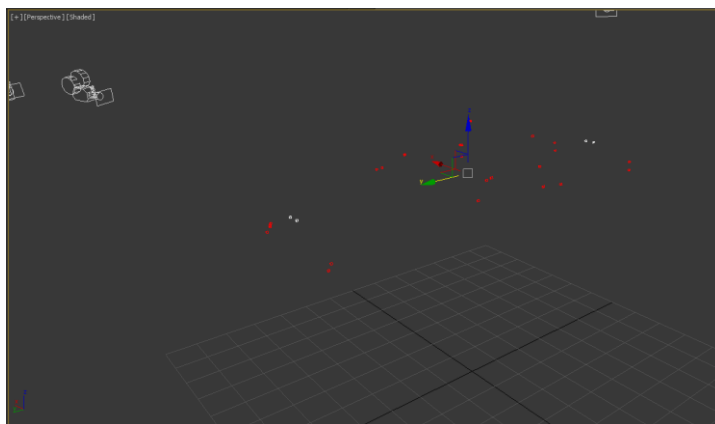
## 4 - Τρισδιάστατη μοντελοποίηση του αυτοκινήτου

### 4.1 Τοποθέτηση της σκηνής από το ImageModeler στο περιβάλλον του 3D Studio Max

Όταν ανοίξουμε το αρχείο .fbx που μας έχει δημιουργήσει το ImageModeler με το 3D Studio Max, θα παρατηρήσουμε πως στο περιβάλλον του 3D Studio Max, η σκηνή αυτή έχει τοποθετηθεί με έναν εντελώς ακανόνιστο τρόπο. Δεν είναι τίποτα ευθυγραμμισμένο με τους άξονες X, Y, Z του περιβάλλοντος μοντελοποίησης, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.1. Η μοντελοποίηση θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί και χωρίς την ευθυγράμμιση της σκηνής με τους άξονες, αλλά για λόγους ευκολίας στην μοντελοποίηση (μετακίνηση στοιχείων σε σχέση με τον X, Y, Z), καλό είναι να τοποθετήσουμε το θέμα μας στο κέντρο των αξόνων. Αρχικά, εντορίζουμε ποια σημεία αναφοράς ανταποκρίνονται σε στοιχεία του αυτοκινήτου που μπορεί να υποδηλώνουν το "κέντρο" του. Σε αυτή την περίπτωση, έχουμε το έμβλημα της Aston Martin εμπρός και πίσω. Τα σημεία αναφοράς στις άκρες και των 2 εμβλημάτων, θα χρησιμοποιηθούν ως γνώμονας για την ευθυγράμμιση των καμερών και των σημείων αναφοράς. Στην εικόνα 4.1, φαίνεται η αρχική θέση των στοιχείων που εισήχθησαν από το Image Modeler, ενώ στην εικόνα 4.2 φαίνεται η τελική τους θέση.



Εικόνα 4.1 : Τα σημεία αναφοράς (κόκκινου χρώματος) καθώς και οι κάμερες (λευκού χρώματος), δεν έχουν ευθυγραμμιστεί με τους άξονες X, Y, Z (μαύρου χρώματος).

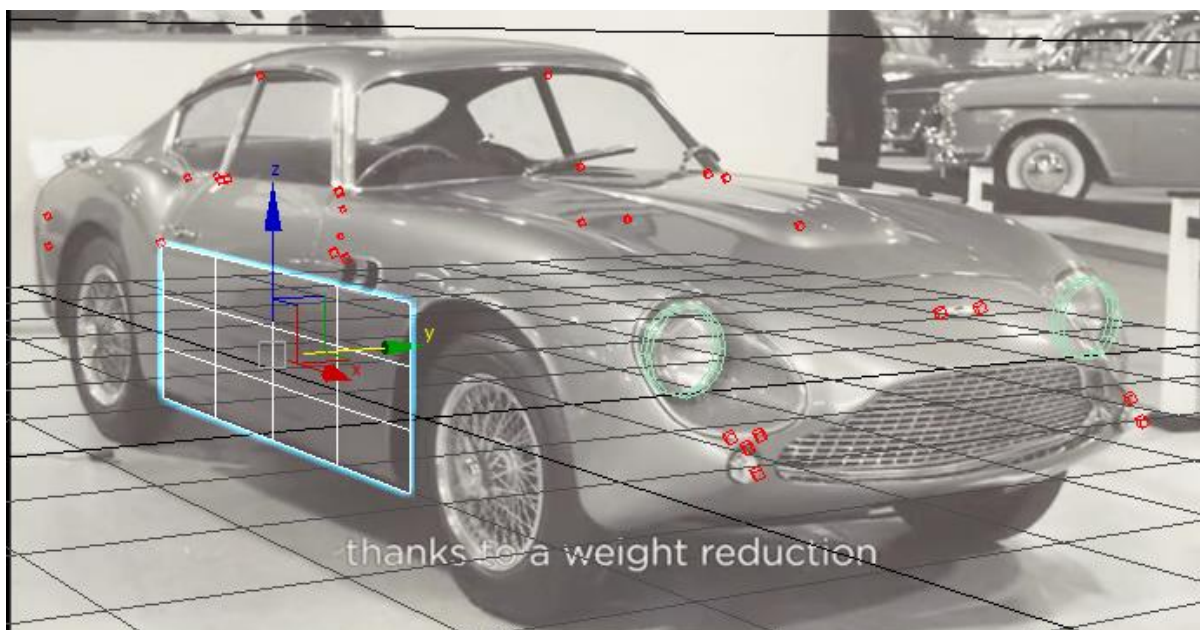


Εικόνα 4.2 : Τα σημεία αναφοράς (Λευκού χρώματος), ανταποκρίνονται στο εμπρός και πίσω σήμα της Aston Martin.

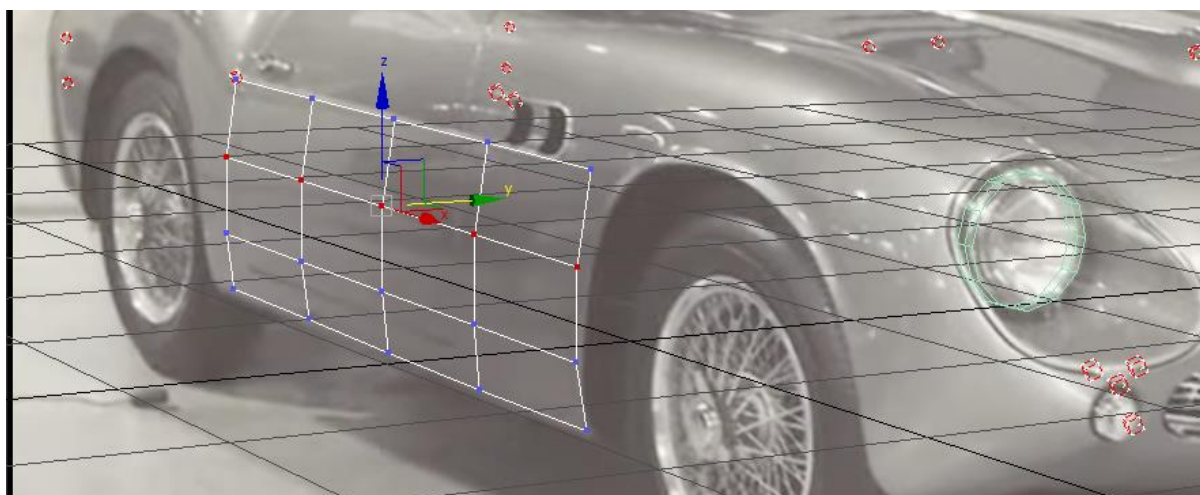
## 4.2 Δημιουργία επιφάνειας ποδηγώνων

Η επιφάνεια του αυτοκινήτου θα αποτελείται από ένα ποδηγωνικό πλέγμα, το οποίο σε πρώτη φάση θα ξεκινήσει ως ένα εντελώς επίπεδο πλέγμα (εικόνα 4.4).

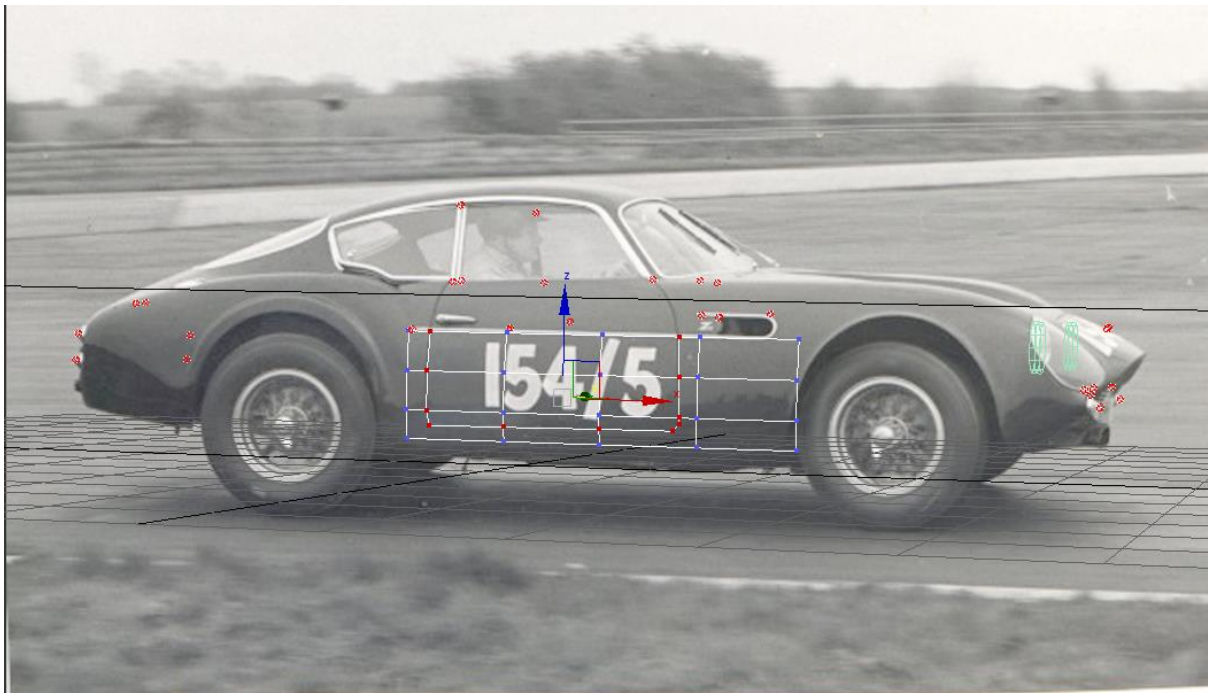
(εικόνα 4.4). Αφού ευθυγραμμιστεί με το ηλιαίο μέρος του αυτοκινήτου, με βάση τις φωτογραφίες, ξεκινά η σταδιακή "καμπύλωση" του, για να προσεγγίσει το καμπύλο σχήμα του αυτοκινήτου (εικόνα 4.5). Για την καλύτερη προσέγγιση της καμπυλότητας δημιουργείται μια σειρά ακμών εντός του πλέγματος, οι οποίες, σχηματίζουν τους αρμούς των ηλιαίων πορτών (εικόνες 4.6, 4.7).



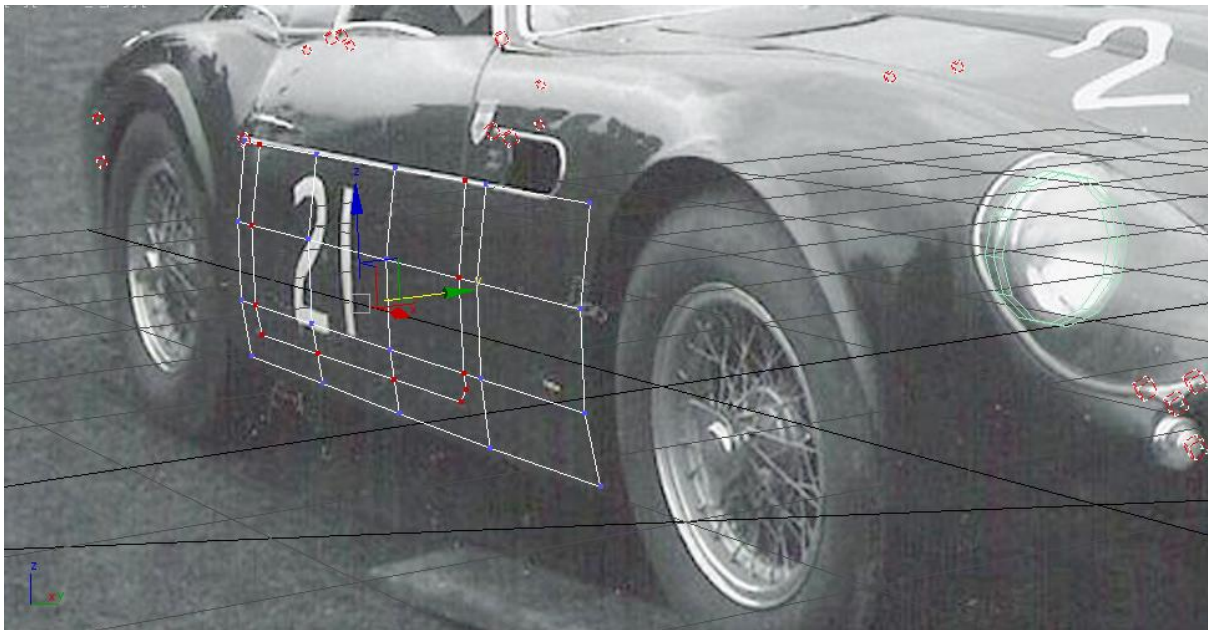
Εικόνα 4.4 : Δημιουργία επίπεδης επιφάνειας (plane)



Εικόνα 4.5 : Καμπύλωση της επίπεδης επιφάνειας (plane)

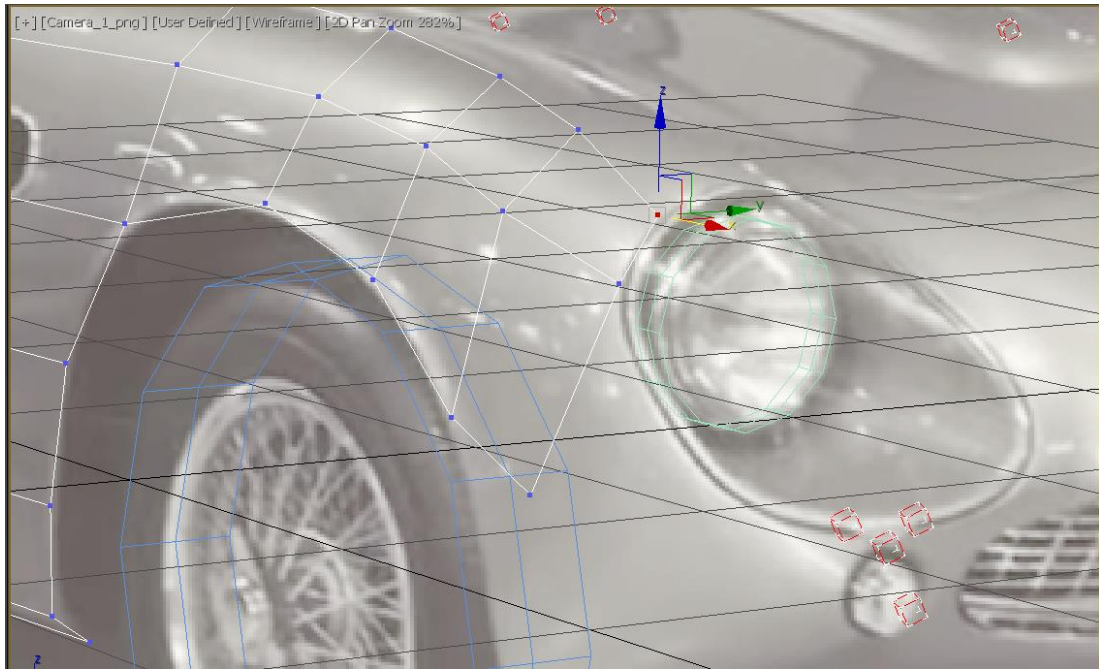


Εικόνα 4.6 : Δημιουργία ακμών στη θέση των αρμών των πορτών

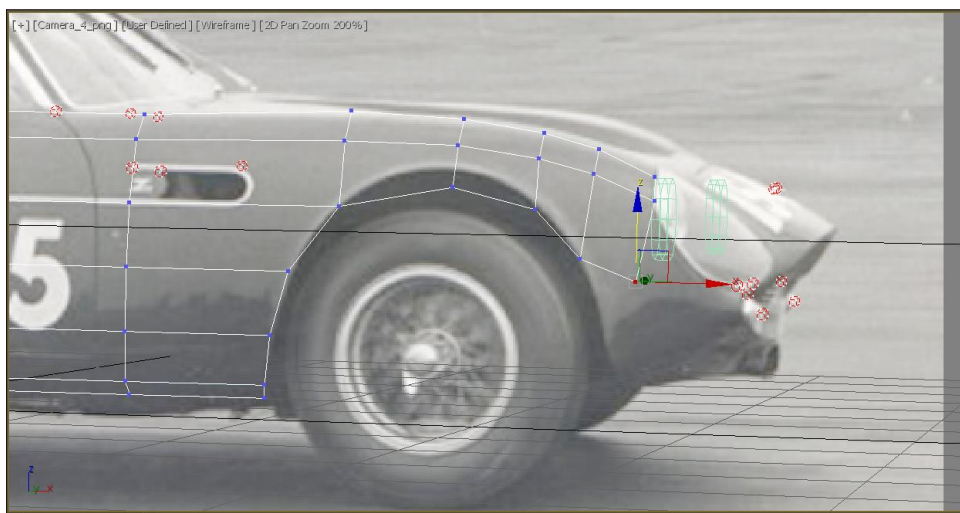


Εικόνα 4.7 : Επαλήθευση της θέσης των ακμών στην θέση των αρμών της πόρτας από άλλη οπτική γωνία

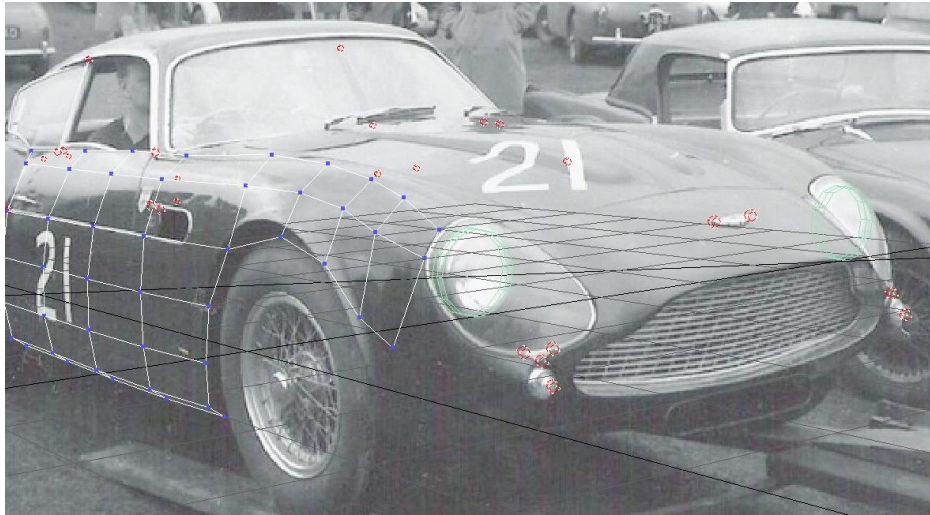
Για την μοντελοποίηση του εμπρός μέρους του αυτοκινήτου, ακολουθεί μια ταύτιση μιας σειράς ακμών με το περιγράμμα των εμπροσθίων φωτιστικών μερών του αυτοκινήτου (εικόνα 4.8). Μέσα από τακτικό οπτικό έλεγχο μεταξύ των φωτογραφιών(εικόνα 4.9,4.10), οι ακμές "αγκαθιάζουν" σε όλες τις εικόνες το περίγραμμα των φωτιστικών σωμάτων.



Εικόνα 4.8 : Μορφοποίηση της επιφάνειας ως προς τα εμπρός φωτιστικά μέρη του αυτοκινήτου

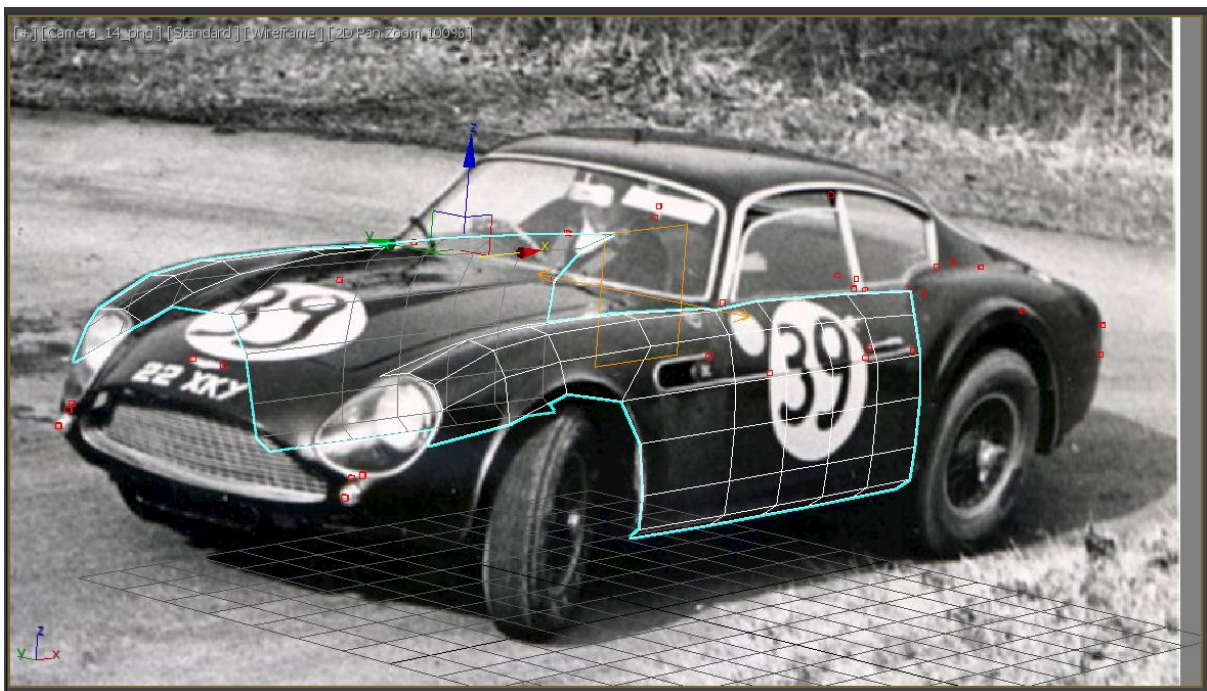


Εικόνα 4.9 : Επαλήθευση της μορφοποίησης της επιφάνειας ως προς τα εμπρός φωτιστικά μέρη του αυτοκινήτου από άλλη οπτική γωνία



Εικόνα 4.10 : Επαλήθευση της μορφοποίησης της επιφάνειας ως προς τα εμπρός φωτιστικά μέρη του αυτοκινήτου από άλλη οπτική γωνία

Σε αυτό το στάδιο, πρέπει να γίνει ένας έλεγχος όσον αφορά την προοπτική καθώς και την συμμετρία. Μέσω του "modifier" του 3ds Max, δημιουργείται ένα συμμετρικό αντίγραφο ως προς τον άξονα Χ (εικόνες 4.11 και 4.12) όπου διαπιστώνεται πως το ηλέγμα ταιριάζει και στην άλλη πλευρά του αυτοκινήτου.

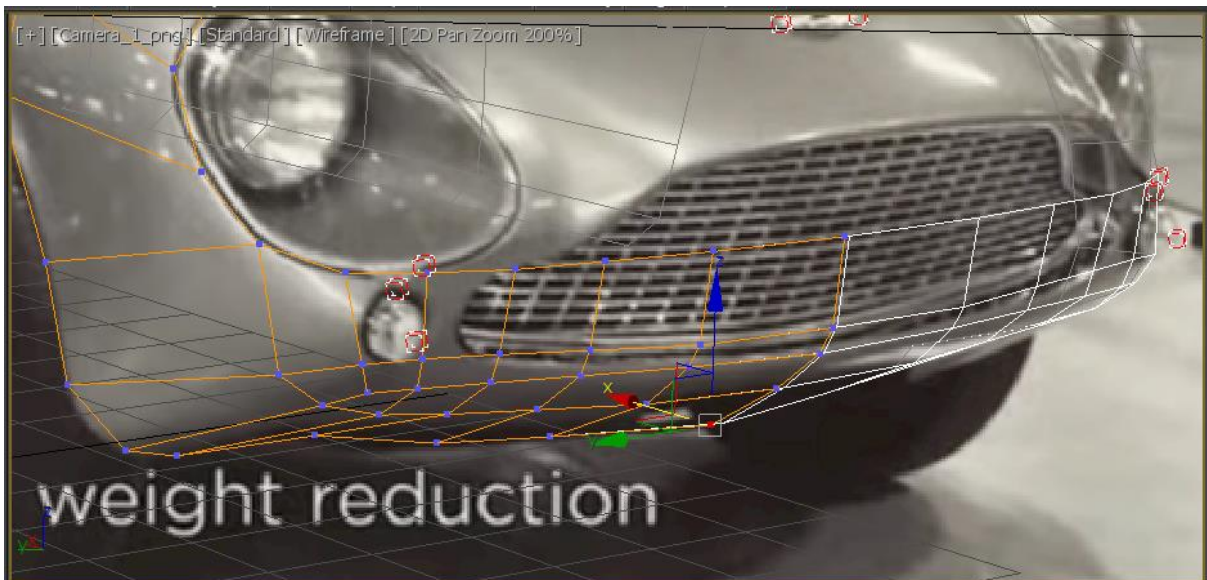


Εικόνα 4.11 : Έλεγχος ως προς την συμμετρία του μοντέλου.



Εικόνα 4.12 : Έλεγχος ως προς την συμμετρία του μοντέλου.

Η ίδια διαδικασία συνεχίζεται και στο υπόλοιπο κομμάτι του εμπρόσθιου μέρους, όπου το πλέγμα σύμφωνα με τις εικόνες 4.13 και 4.14, αγκαλιάζει το αμάξωμα στις φωτογραφίες.



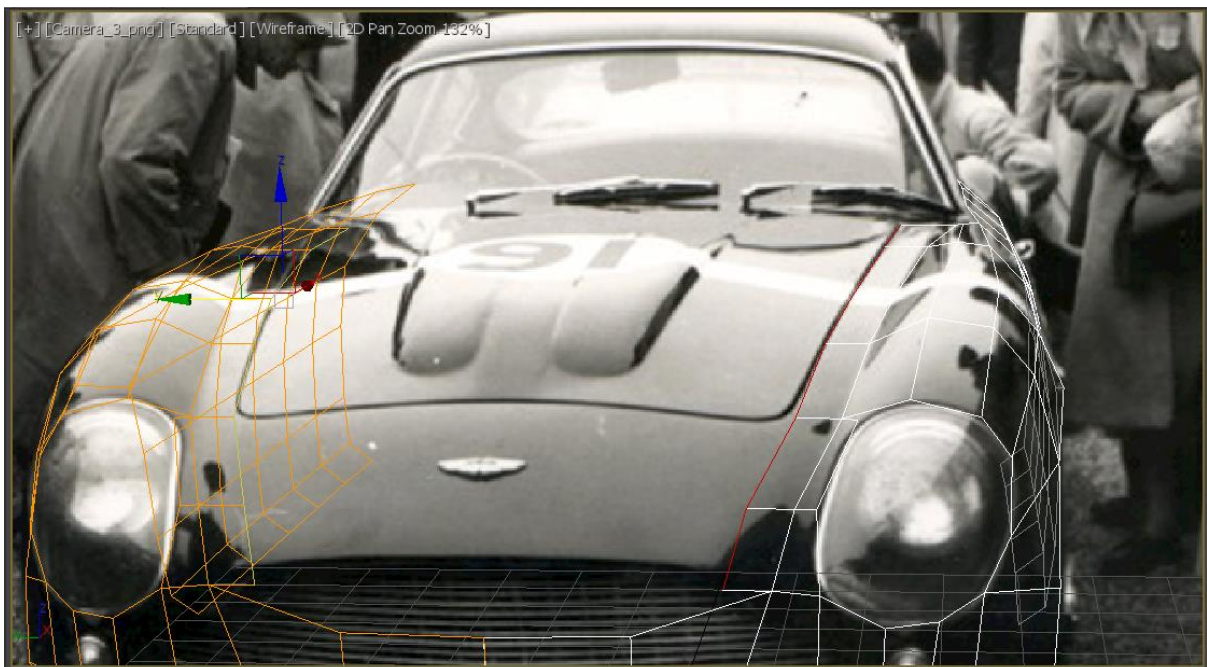
Εικόνα 4.13 : Μοντελοποίηση του εμπρόσθιου μέρους του αυτοκινήτου.



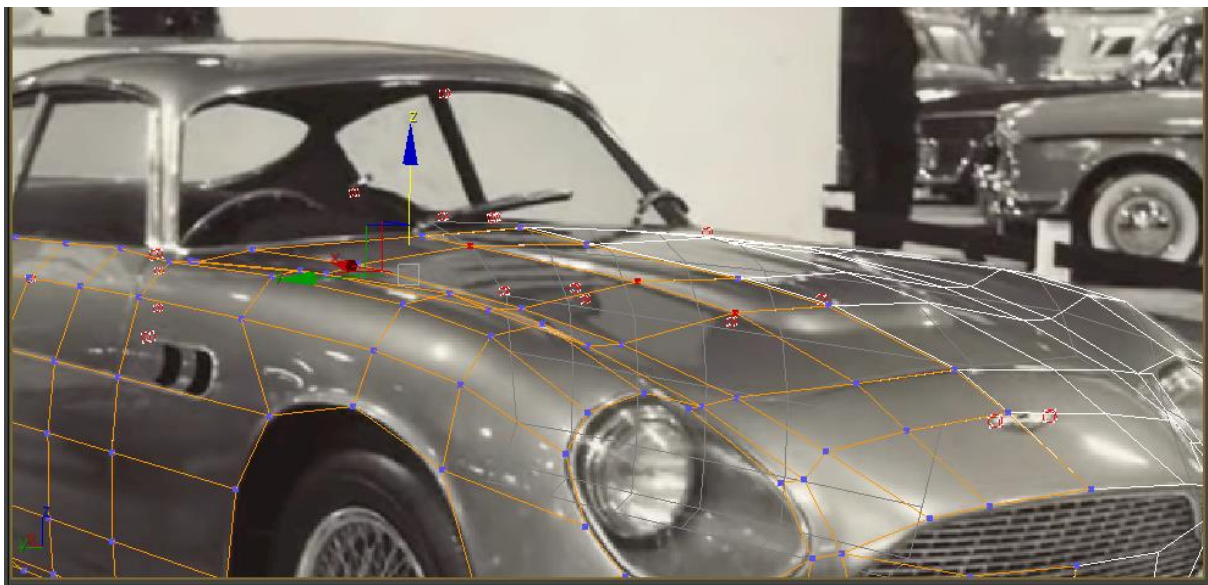


Εικόνα 4.14 : Οπτικός έλεγχος του μοντέλου ως προς την άλλη πλευρά του αυτοκινήτου.

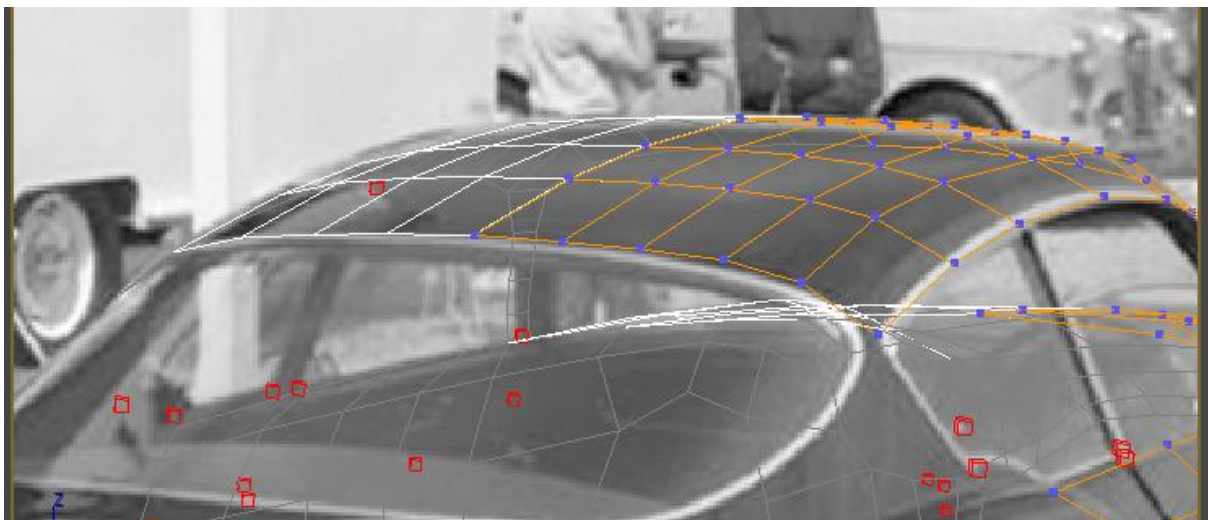
Έπειτα, για την δημιουργία του καπό, ευθυγραμμίζεται μια σειρά ακμών που απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα (εικόνα 4.15) με τους αρμούς του καπό για να επιτευχθεί καμπυλότητα του καπό όσο τον δυνατόν καλύτερα. Έχοντας δημιουργήσει το μεγαλύτερο κομμάτι του εμπρός του μέρους, η πιστότητα ελέγχεται μέσα από τις εικόνες 4.15 και 4.16, στις οποίες οι ακμές του πλέγματος ταυτίζονται με τους αρμούς του πάνελ του καπό. Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο συνεχίζεται η μοντελοποίηση και ο έλεγχος πιστότητας της οροφής και του πίσω μέρους του αυτοκινήτου (εικόνα 4.17, 4.18).



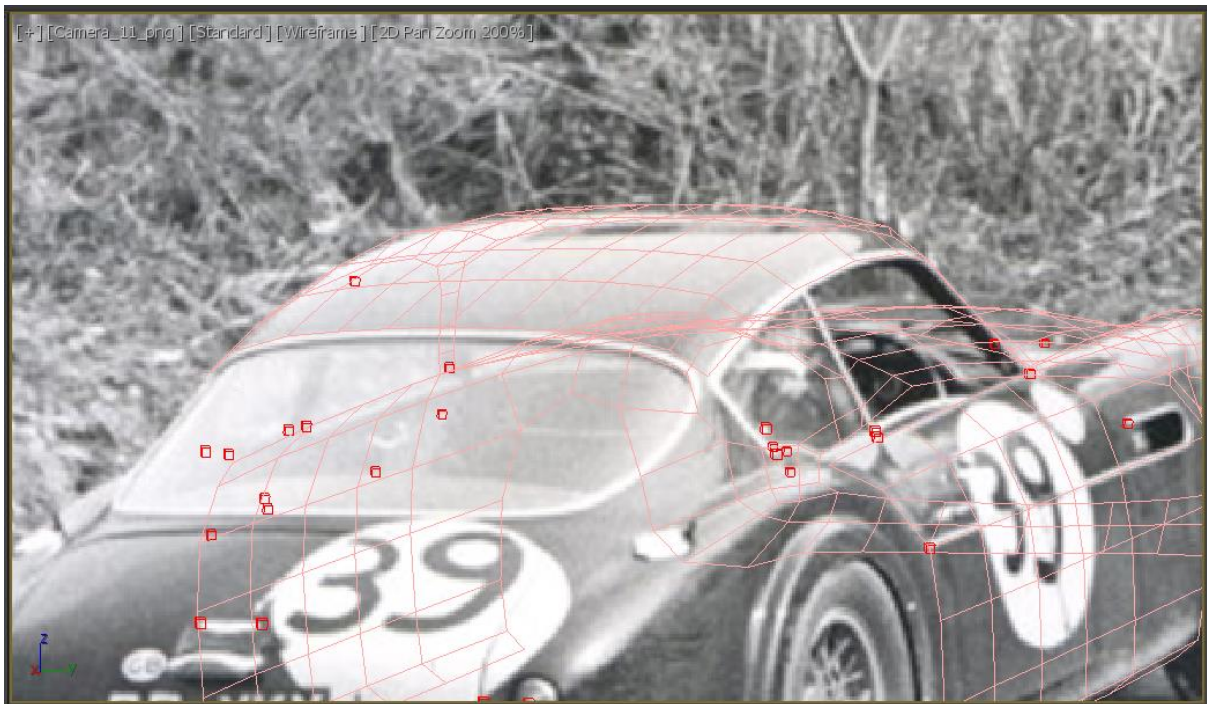
Εικόνα 4.15 : Ταύτιση ακμών με τους αρμούς του καπό.



Εικόνα 4.16 : Δημιουργία επιφάνειας που καλύπτει το καπό του αυτοκινήτου.

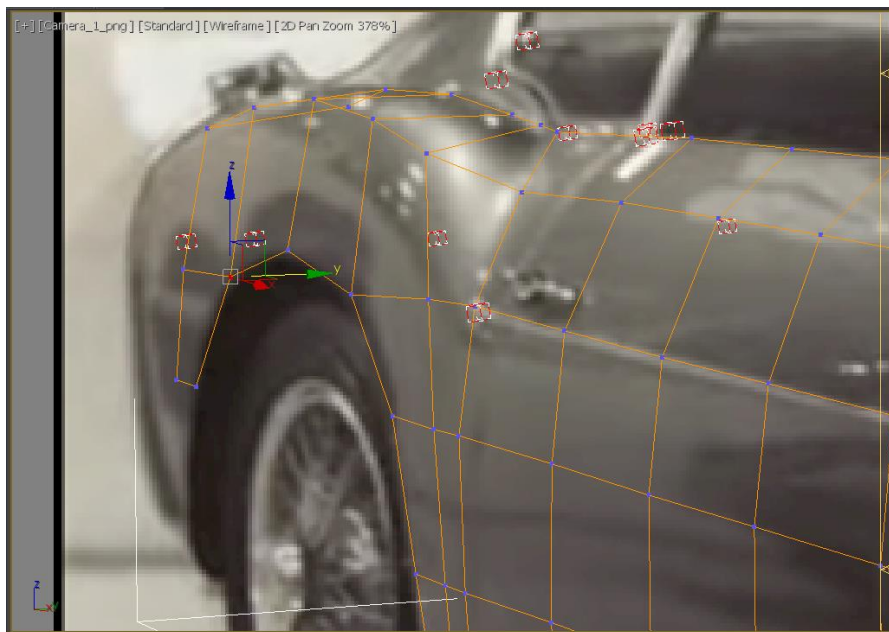


Εικόνα 4.17 : δημιουργία επιφάνειας που καλύπτει την οροφή του αυτοκινήτου.

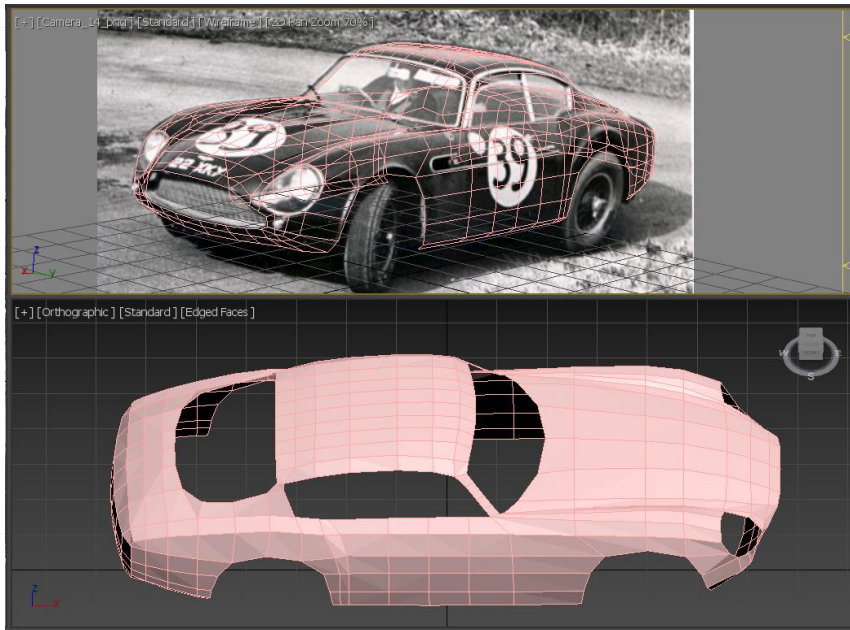


Εικόνα 4.18 : Επαλήθευση της πιστότητας της επιφάνειας της οροφής από διαφορετική οπτική γωνία.

Στην εικόνα 4.20, φαίνεται η το πολυγωνικό πλέγμα που έχει παραχθεί και αντιστοιχεί στη βασική μορφή του σχήματος του αυτοκινήτου. Στην εικόνα 4.21, βλέπουμε το ολοκληρωμένο πλέγμα πάνω σε μια φωτογραφία του αυτοκινήτου.



Εικόνα 4.19 : το σχήμα των φτερών θα πρέπει να βασιστεί καθαρά στην εικόνα η οποία απεικονίζει το αυτοκίνητο κατά την παρουσίαση του, πριν δεχτεί μετατροπές.

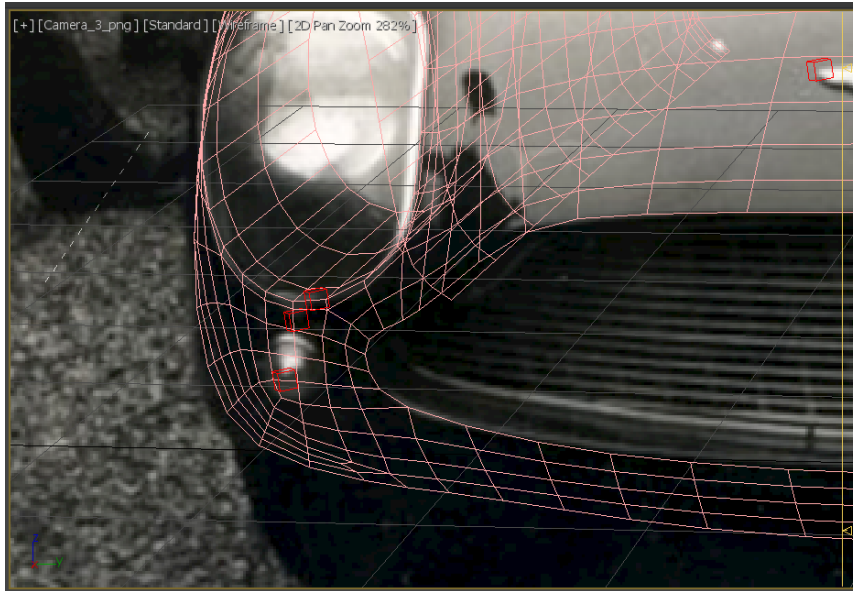


Εικόνα 4.20 : Η δημιουργία του γενικού σχήματος του αυτοκινήτου έγινε με επιτυχία.

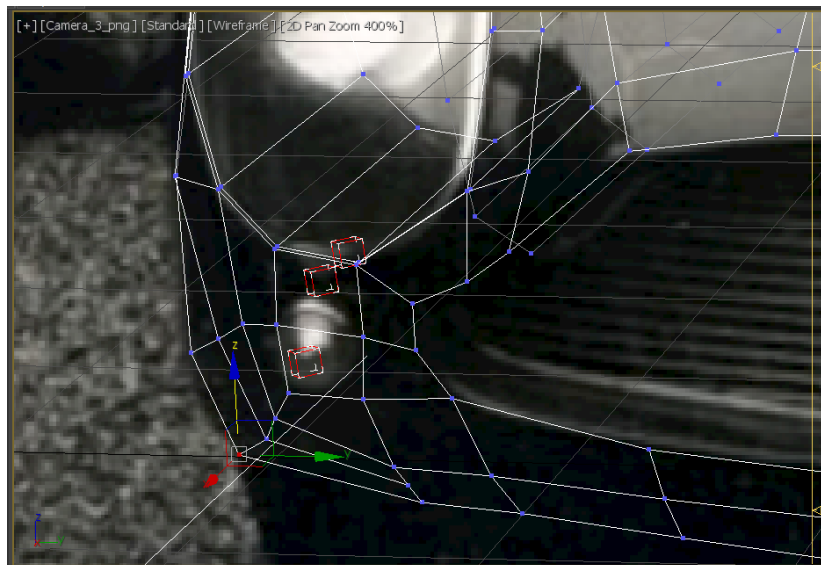


Εικόνα 4.21 : το μοντέλο του γενικού σχήματος, τοποθετημένο πάνω σε φωτογραφία για λόγους επαλήθευσης της πιστότητας του προς το πραγματικό αυτοκίνητο.

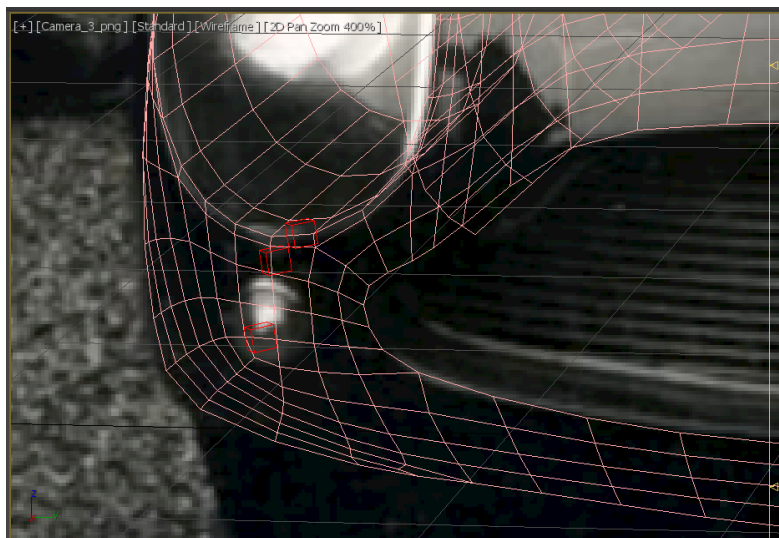
Το επόμενο στάδιο της διαδικασίας εστιάζει στην επεξεργασία του πλέγματος με σκοπό την επίτευξη βέλτιστης ταύτισης μεταξύ του πλέγματος και των φωτογραφιών. Μέσω των εργαλείων του ρομποτικού 3Ds Max δημιουργείται ένα πιο λείο πλέγμα (εργαλείο Turbosmooth). Στα σημεία που ο πλέγμα δεν φαίνεται να καλύπτει επαρκώς το σχήμα του αυτοκινήτου (εικόνα 4.22) απαιτείται η επιστροφή στην αρχική μορφή του πλέγματος, και η μετακίνηση ορισμένων κορυφών (εικόνα 4.23) ώστε η εφαρμογή του εργαλείου ξανά του Turbosmooth modifier να μην δημιουργήσει ατέλειες στο πλέγμα (εικόνα 4.24).



Εικόνα 4.22 : Η επιφάνεια που έχει δημιουργηθεί μέχρι στιγμής, έπειτα από την εφαρμογή του Turbosmooth, δεν καλύπτει επαρκώς ορισμένα σημεία.



Εικόνα 4.23 : αλλαγές στην επιφάνεια πριν την εφαρμογή του Turbosmooth.



Εικόνα 4.24 : το αποτέλεσμα έπειτα από τις αλλαγές της εικόνας 4.23.

Η μοντελοποίηση λεπτομερειών γίνεται στο τέλος της συνολικής διαδικασίας αφού έχει κατασκευαστεί το βασικό αμάξωμα, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.21.

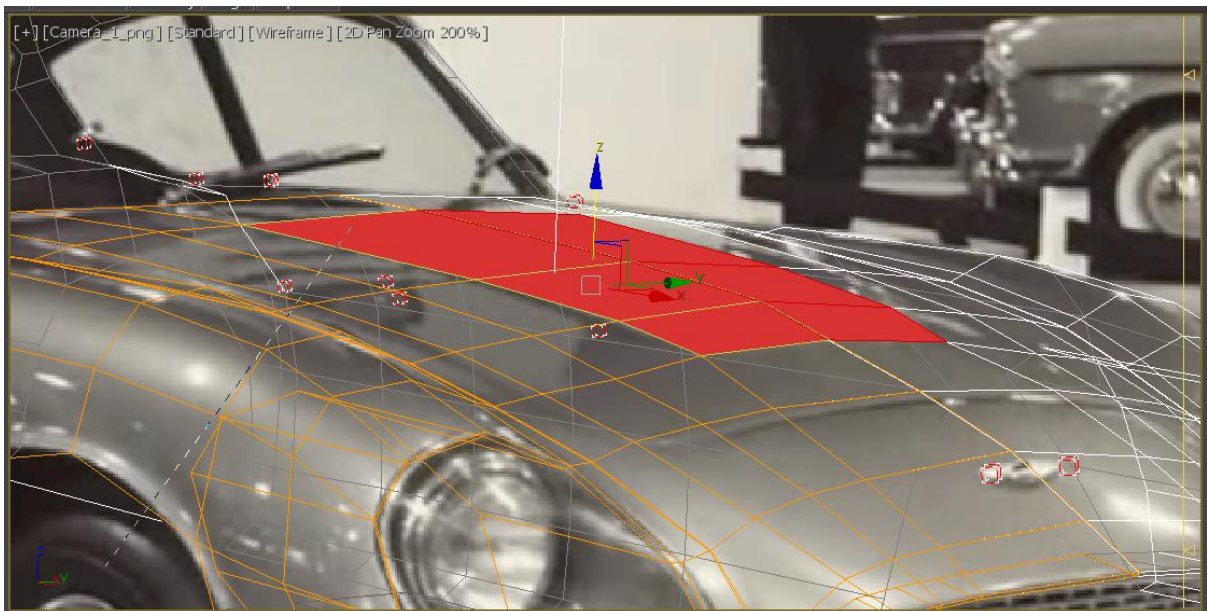
Τέτοιες λεπτομέρειες είναι:

- Δημιουργία των αρμών των πάνελ
- Δημιουργία ανοιγμάτων των αεραγωγών
- Δημιουργία διάφανων καλυμμάτων των φωτιστικών σωμάτων
- Δημιουργία παραθύρων
- Δημιουργία των μεταλλικών στοιχείων των παραθύρων
- Δημιουργία εμπρόσθιας γρύλλιας
- Δημιουργία ηλαίνου μεταλλικού διακοσμητικού στοιχείου
- Δημιουργία καπακιού εισαγωγής καυσίμου
- Δημιουργία χερουλιών
- Δημιουργία Υαλοκαθαριστήρων
- Δημιουργία του χαρακτηριστικού "εξογκώματος" στο καπό
- Δημιουργία χαρακτηριστικής καμψύλης κάτω από το πίσω ηλαϊνό παράθυρο

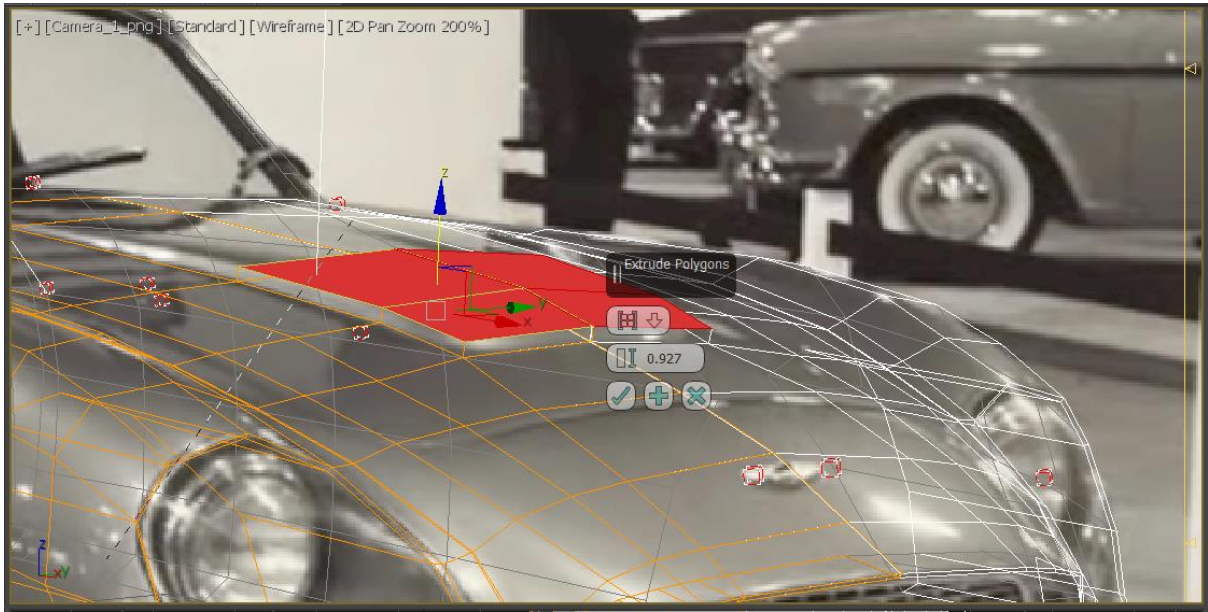
#### 4.2.1 Δημιουργία του χαρακτηριστικού "εξογκώματος" στο καπό

Το συγκεκριμένο αυτοκίνητο διαθέτει ένα στοιχείο στο καπό που δεν διαθέτει καμία άλλη DB4 Zagato, το οποίο διακρίνεται μόνο στην εικόνα από την έκθεση στην οποία παρουσιάστηκε. Οπότε, με βάση αυτή, δημιουργείται στο ήδη υπάρχον ηλέγμα ένα "περίγραμμα" από ακμές, το οποίο περιτριγυρίζει το καμψύλο αυτό στοιχείο (εικόνα 4.25). Στη συνέχεια, με μετακίνηση και εξώθηση των πολυγώνων του περιγράμματος (εικόνα 4.26) προσεγγίζεται όσο το δυνατόν περισσότερο το σχήμα αυτό.

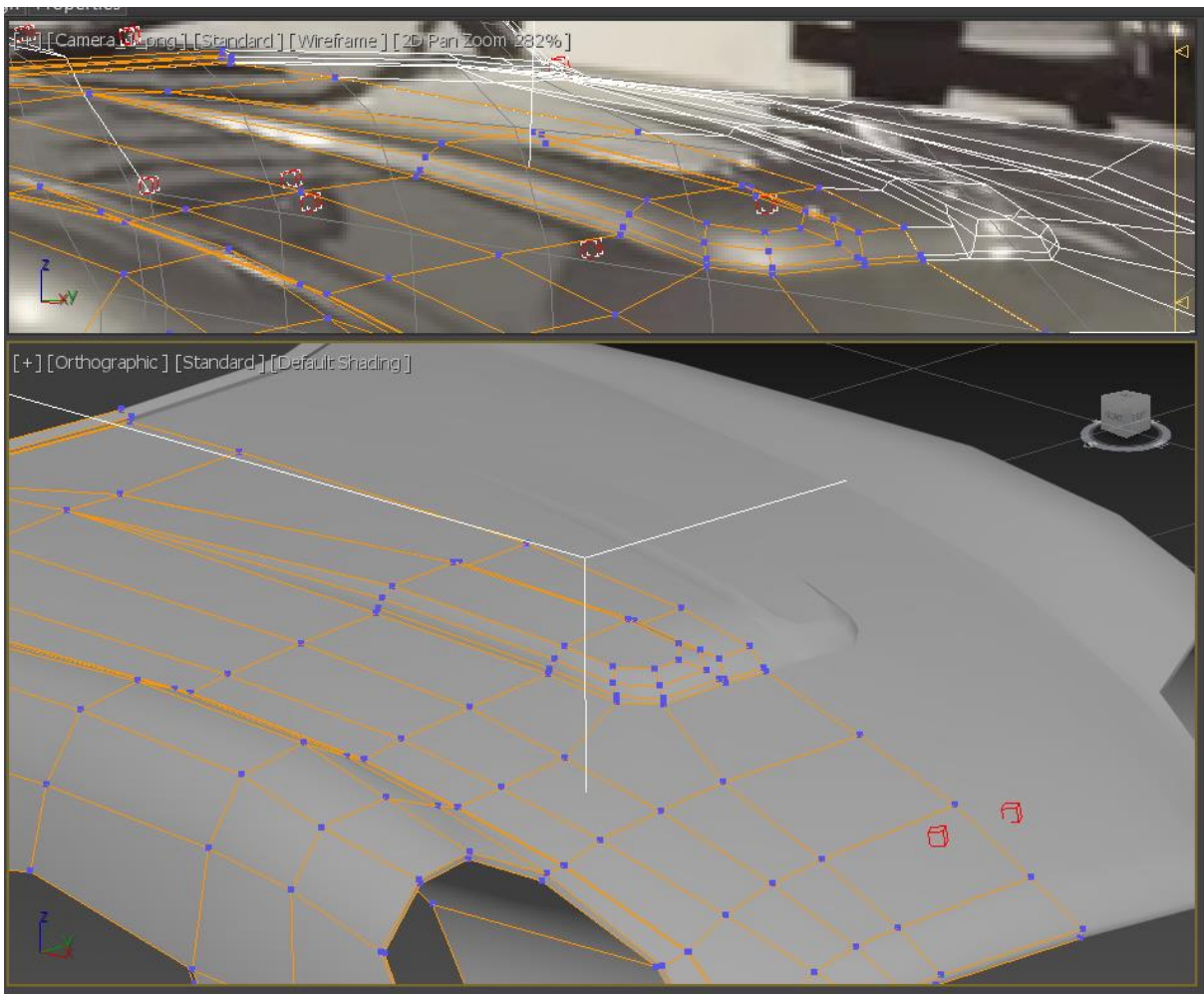
Έπειτα, είναι υπόθεση προσθήκης λεπτομερειών (εικόνα 4.27) ώστε να φτάσουμε όσο πιο κοντά γίνεται στο σχήμα που αποτυπώνεται στην φωτογραφία (εικόνα 4.28).



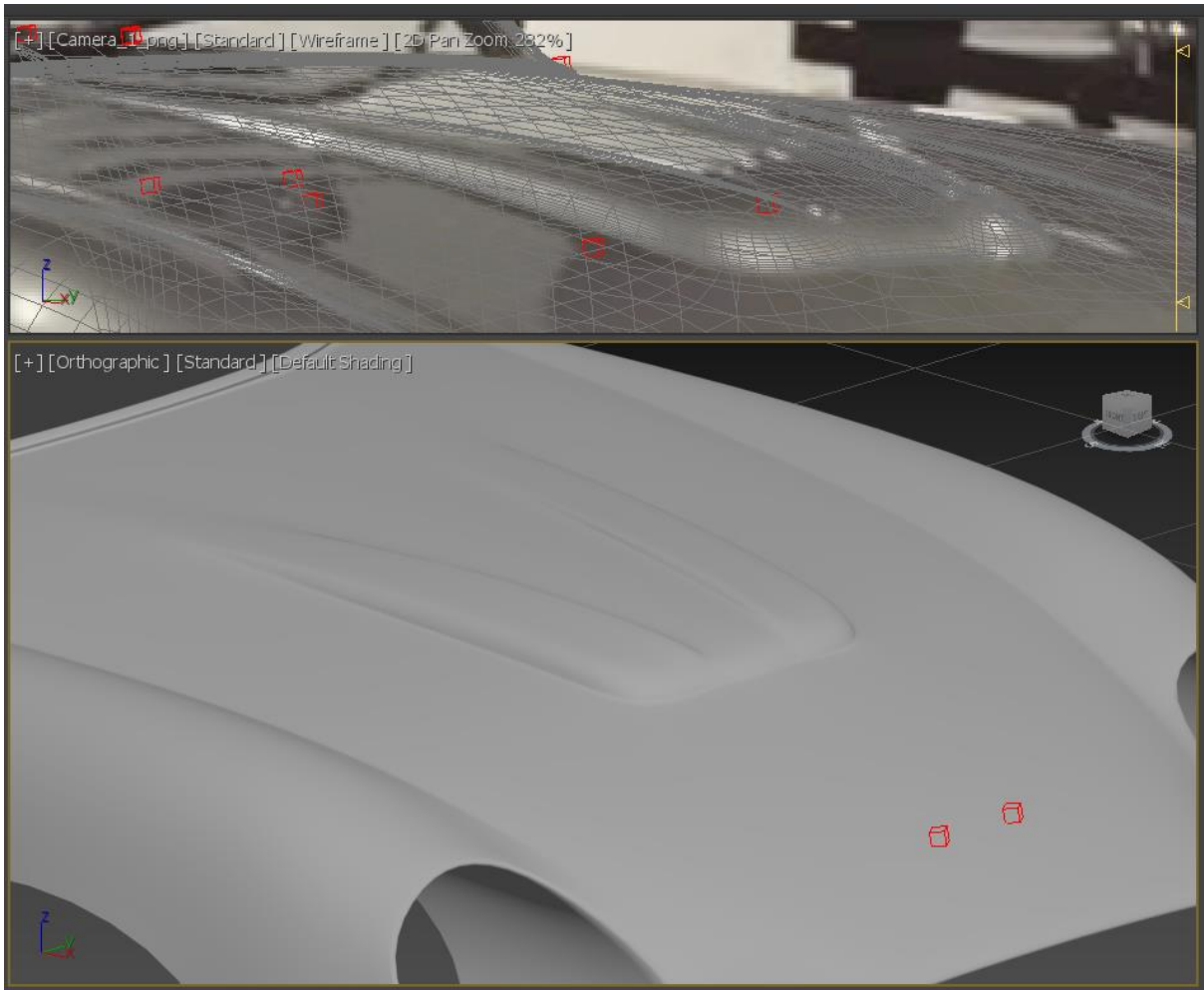
Εικόνα 4.25 : επιλογή των πολυγώνων που βρίσκονται στην θέση του χαρακτηριστικού σχήματος του καπό.



Εικόνα 4.26 : Εξώθηση των πολυγώνων αυτών ώστε να ταιριάζουν στο πάχος που έχει το σχήμα του καπό.



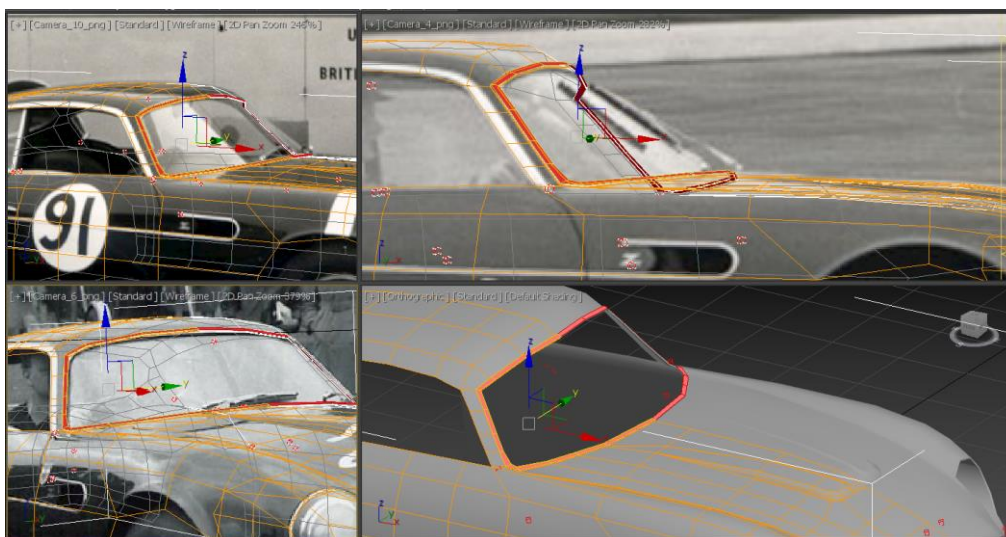
Εικόνα 4.27 : προσθήκη και μορφοποίηση ακμών στο σχήμα που εξωθήθηκαν ώστε να φτάσει αρκετά κοντά στο πραγματικό.



Εικόνα 4.28 : το τελικό αποτέλεσμα ταιριάζει σχεδόν άψογα με το σχήμα της εικόνας.

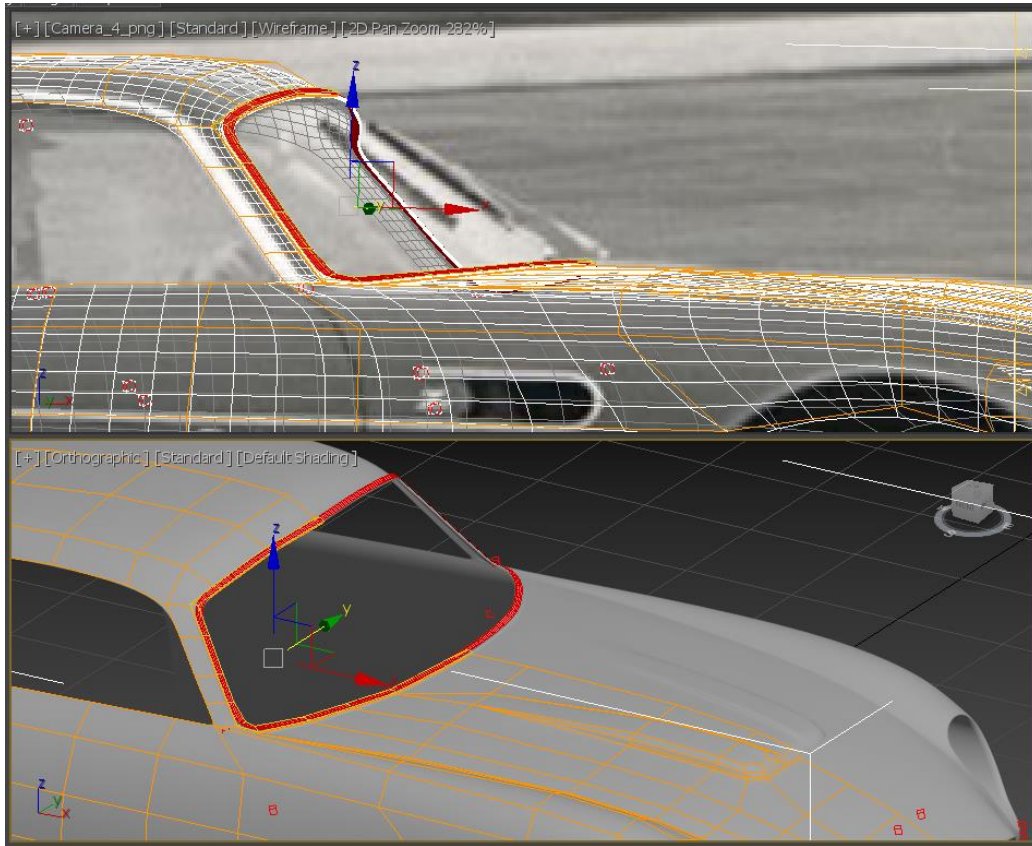
#### 4.2.2 Δημιουργία των μεταλλικών στοιχείων του εμπρός παραθύρου

Έπειτα, συνεχίζω προς την δημιουργία των μεταλλικών "trim" γύρω από τα παράθυρα του αυτοκινήτου, τα οποία δημιουργώ με ακμές και έπειτα εξωθώ προς τα έξω (εικόνα 4.29), όπου αφού εφαρμόσω τον TurboSmooth modifier, τα πολύγωνα που το αποτελούν "αγκαλιάζουν" πλήρως την φόρμα που διακρίνεται στην φωτογραφία (εικόνα 4.30).





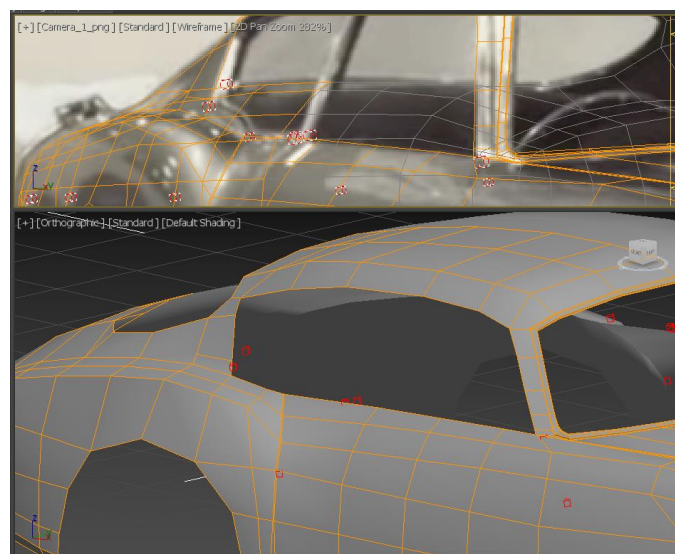
Εικόνα 4.29 : Δημιουργία του μεταλλικού trim γύρω από το εμπρόσθιο παράθυρο.



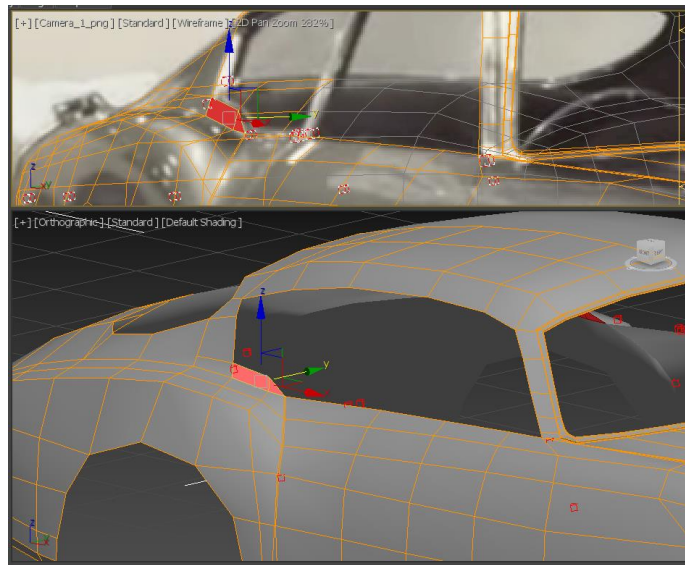
Εικόνα 4.30 : έπειτα από την εφαρμογή του Turbosmooth, το σχήμα του trim έφτασε πολύ κοντά στο σχήμα του πραγματικού αυτοκινήτου.

#### 4.2.3 Δημιουργία χαρακτηριστικής καμψύλης κάτω από το πίσω ηλιακό παράθυρο

Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό του αυτοκινήτου, το οποίο πρέπει να αποτυπωθεί με ακρίβεια, είναι η καμψύλη που βρίσκεται κάτω από το πίσω ηλιακό παράθυρο (εικόνα 4.31, 4.32).



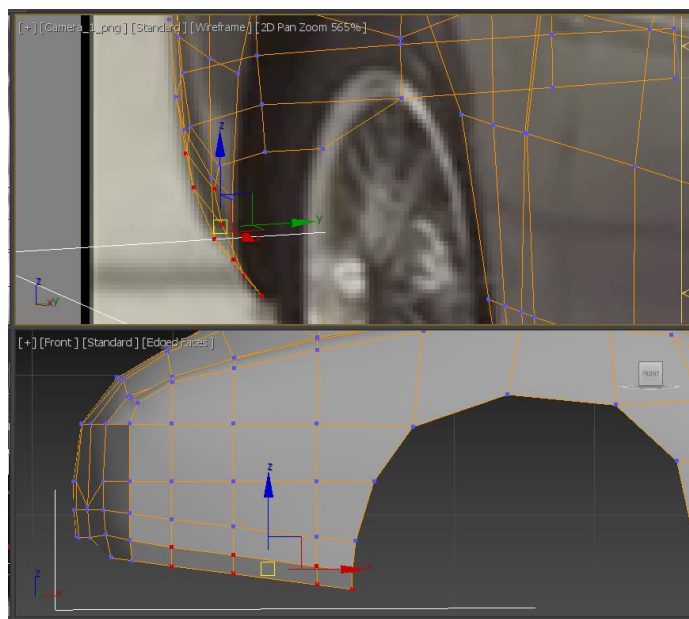
Εικόνα 4.31 : Η επιφάνεια δεν διαθέτει την χαρακτηριστική καμψύλη στο κάτω μέρος του παραθύρου



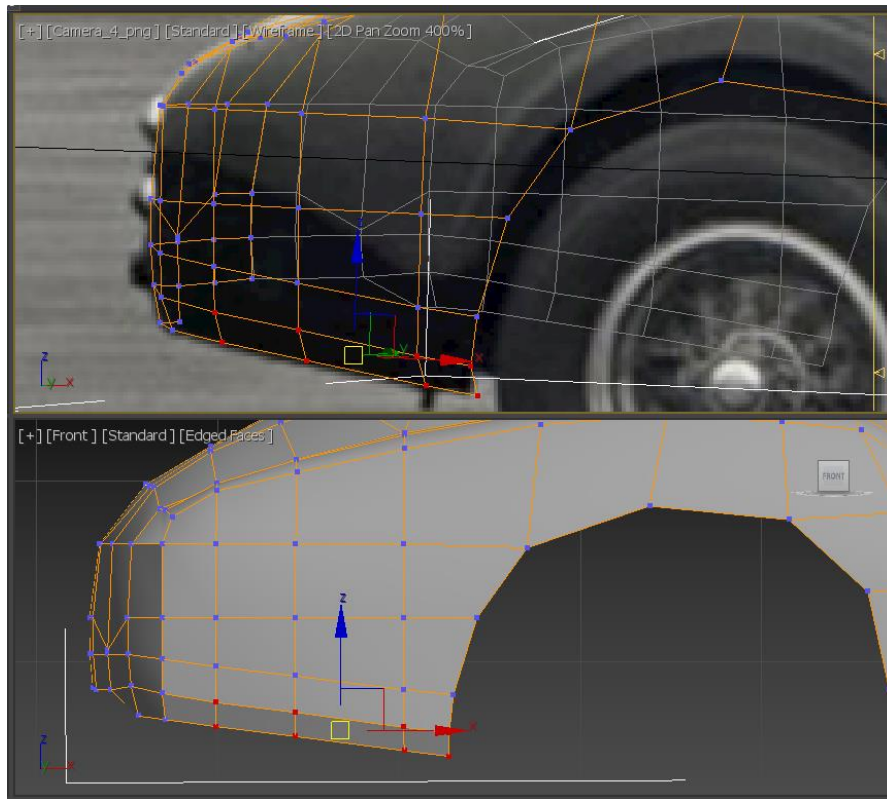
Εικόνα 4.32 : Προσθήκη της καμπύλης στο κάτω μέρος του παραθύρου.

#### 4.2.4 Δημιουργία χαρακτηριστικού "fillet" στο πίσω μέρος του αυτοκινήτου

Έπειτα, οι εργασίες συνεχίζονται στο πίσω μέρος του αυτοκινήτου, όπου το κάτω του μέρος έχει ένα μικρό "fillet", το οποίο μοντελοποιήσα, όπως φαίνεται στις εικόνες 4.34, 4.35.



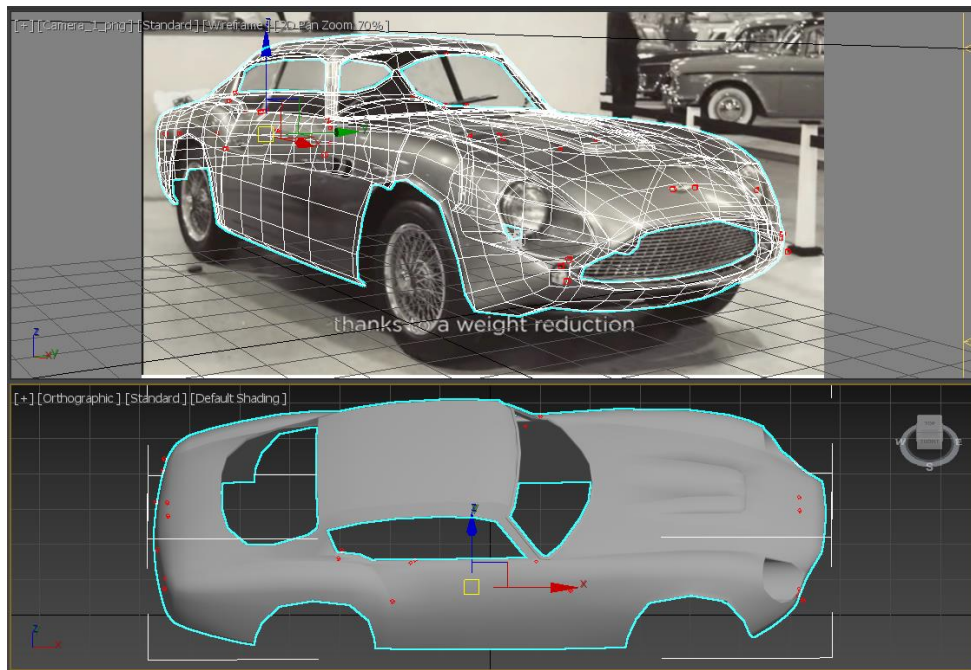
Εικόνα 4.34 : μορφοποίηση ακμών ώστε να ταιριάζουν με την καμπύλη που έχει το κάτω μέρος του αμαξώματος στο πίσω μέρος του.



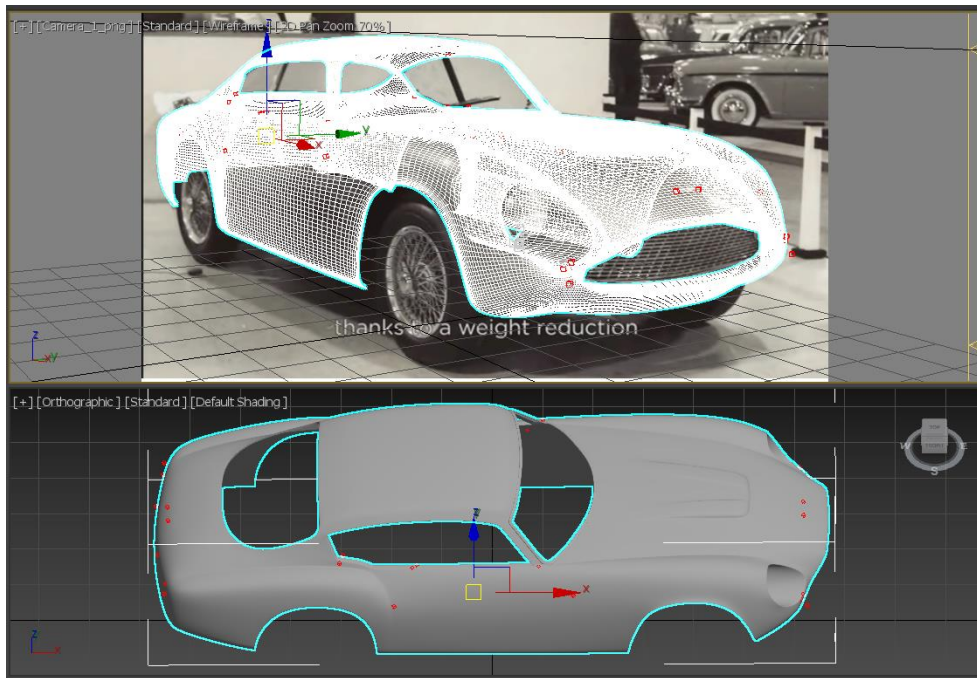
Εικόνα 4.35 : Επαλήθευση της μορφοποίησης από άλλη οπτική γωνία.

#### 4.2.5 Οπτικός έλεγχος

Στις εικόνες 4.36 και 4.37, αποτυπώνεται το αποτέλεσμα των εργασιών, καθώς και το πλέγμα τοποθετημένο πάνω στην εικόνα του αυτοκινήτου.



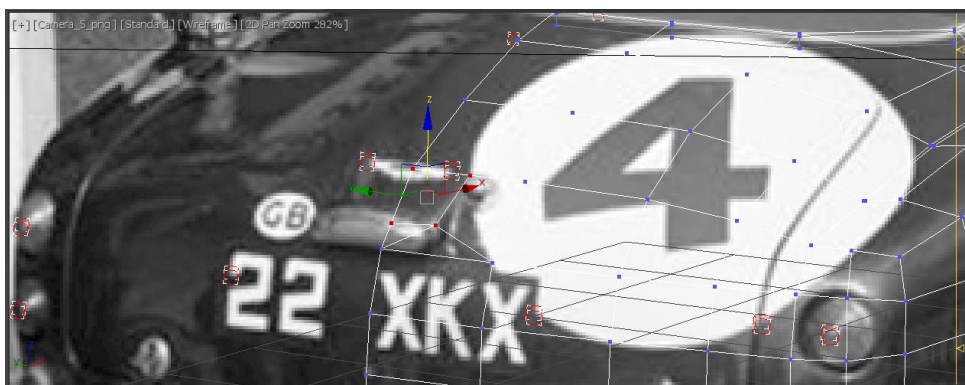
Εικόνα 4.36 : Έλεγχος του γενικού σχήματος έπειτα από την μοντελοποίηση των προηγούμενων σταδίων.



Εικόνα 4.37 Έλεγχος του γενικού σχήματος έπειτα από την μοντελοποίηση των προηγούμενων σταδίων και της εφαρμογής του TurboSmooth modifier.

#### 4.2.6 Δημιουργία βάσης του χερουλιού του πίσω πάνελι

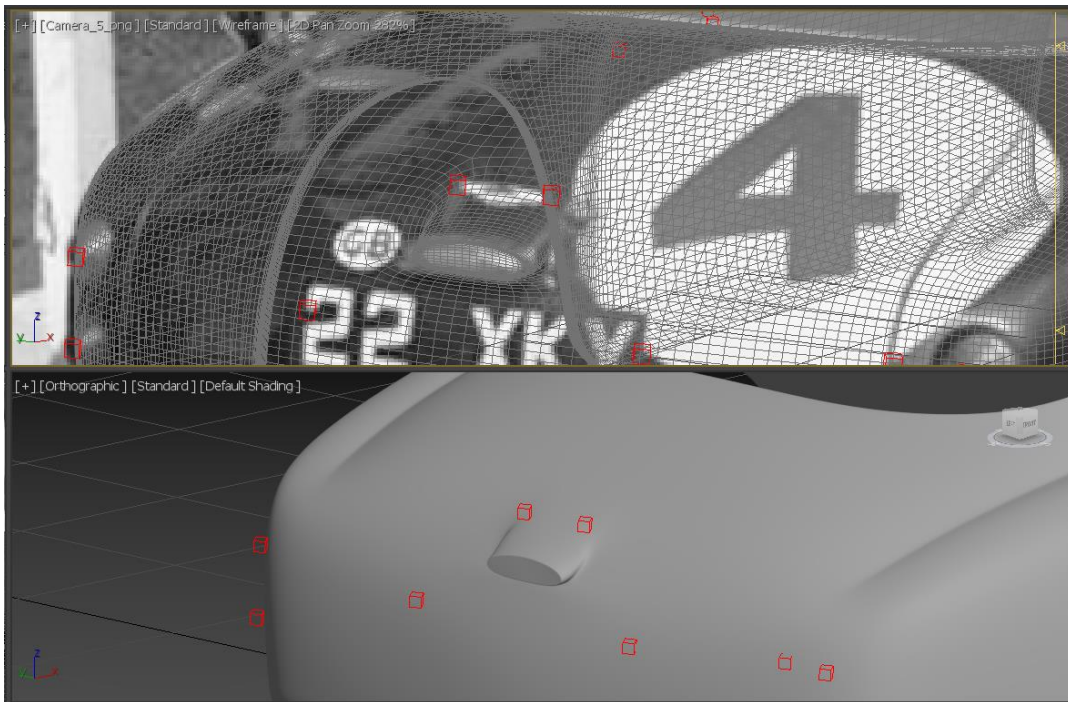
Στην συνέχεια, ακολούθησε η μοντελοποίηση της βάσης για το χερούλι του πίσω πάνελι του αυτοκινήτου (εικόνες 4.38, 4.39, 4.40).



Εικόνα 4.38 : Μορφοποίηση της επιφάνειας για να ταιριάζει στις φωτογραφίες.



Εικόνα 4.39 : Μορφοποίηση της επιφάνειας για να ταιριάζει στις φωτογραφίες.

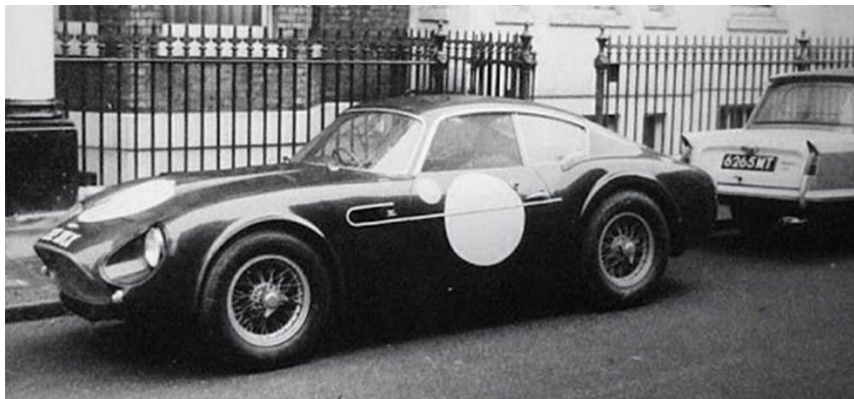


Εικόνα 4.40 : το τελικό αποτέλεσμα της μορφοποίησης ταιριάζει με τις φωτογραφίες.

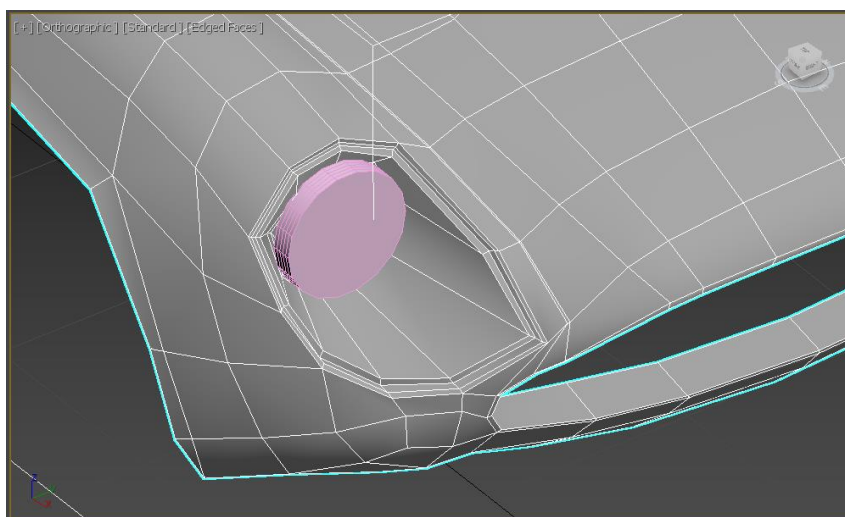
#### 4.2.7 Δημιουργία πατούρας στο εσωτερικό των φωτιστικών σωμάτων

Σύμφωνα με την εικόνα 4.41, στο εσωτερικό των φωτιστικών σωμάτων, κάτω από το διαφανές κάλυμμα, υπάρχει μια "πατούρα", στην οποία στέκεται και στηρίζεται το διάφανο κάλυμμα.

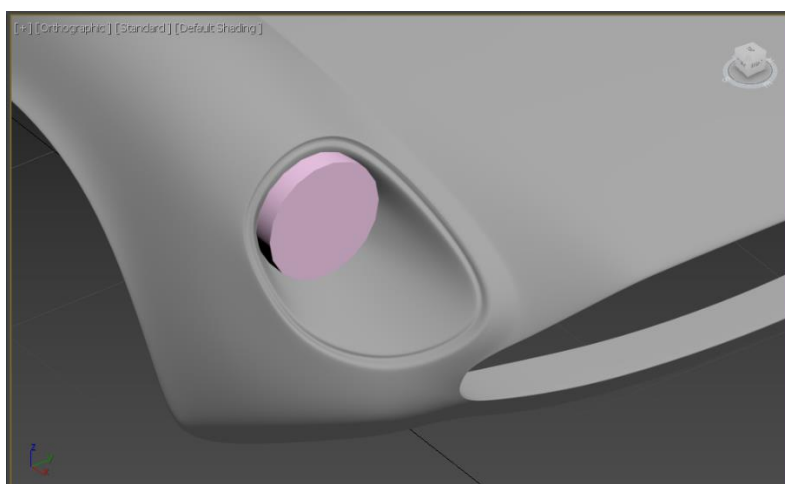
στην εικόνα 4.42 φαίνεται η προσθήκη της πατούρας αυτής στην αρχική μορφή του πολυγωνικού πλέγματος και έπειτα από την εφαρμογή του TurboSmooth Modifier, απέκτησε την επιθυμητή μορφή (εικόνα 4.43).



Εικόνα 4.41 : Στην φωτογραφία αυτή, τα διάφανα καλύμματα των εμπρόσθιων φωτιστικών μερών λείπουν, και η "πατούρα" που λειτουργεί ως βάση τους είναι διακριτή.



Εικόνα 4.42 : Δημιουργία της πατούρας στο εσωτερικό της θέσης των φωτιστικών σωμάτων.



Εικόνα 4.43 : Το αποτέλεσμα της μοντελοποίησης της πατούρας.

## 4.2.8 Οπτικός έλεγχος

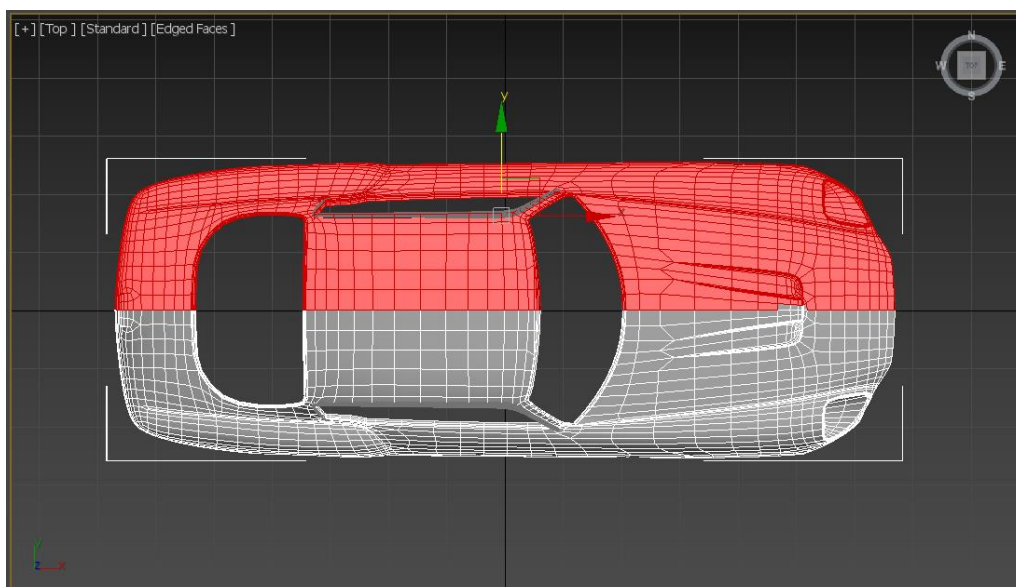
Πριν την δημιουργία των αρμών των πάνελι του αυτοκινήτου, έγινε εισαγωγή του μοντέλου του αμαξώματος στο πρόγραμμα ρεαλιστικής απεικόνισης Keyshot ώστε να πραγματοποιηθεί ένας οπτικός έλεγχος (εικόνα 4.44).



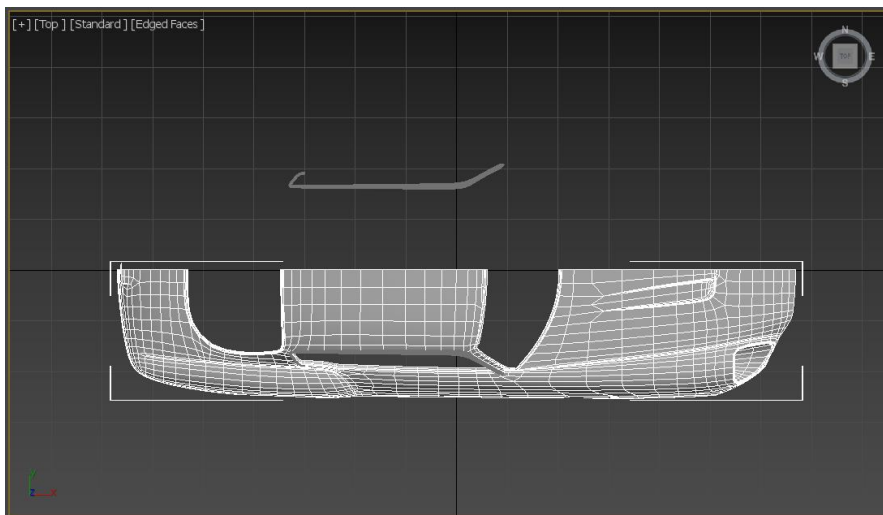
Εικόνα 4.44 : Εισαγωγή του μοντέλου στο λογισμικό Keyshot.

## 4.2.9 Δημιουργία των αρμών των πάνελι

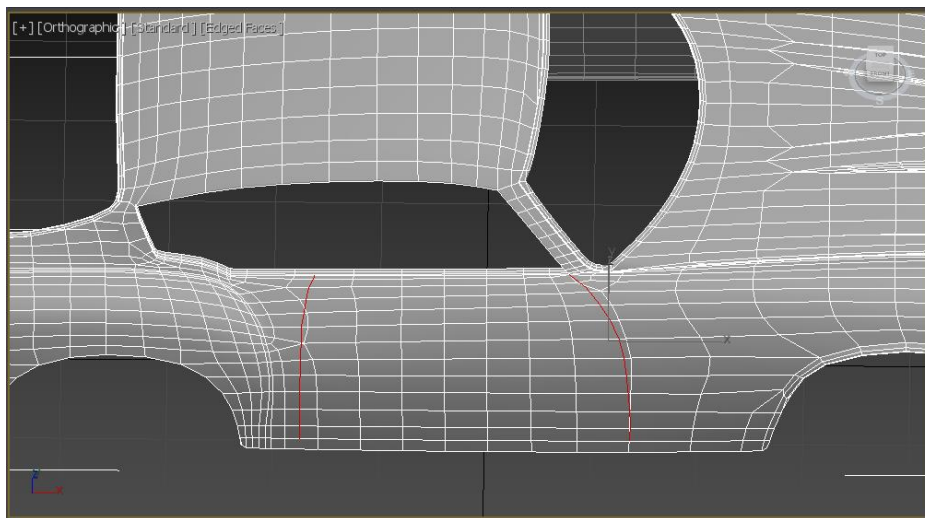
Ακολουθεί η δημιουργία των αρμών των πάνελι με την χρήση του εργαλείου "Edit Poly". Διαγράφονται τα πολύγωνα της αριστερής πλευράς του αυτοκινήτου, εικόνα 4.45 και 4.46, και έπειτα ακολουθεί η δημιουργία μιας σειράς ακμών (εικόνα 4.47).



Εικόνα 4.45 : Επιλογή των μισών πολυγώνων του αμαξώματος.

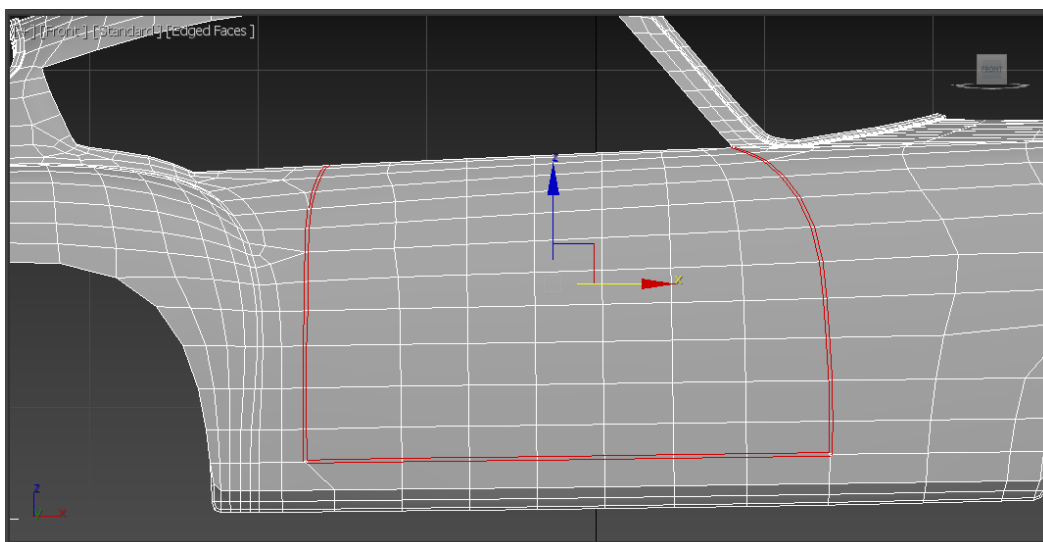


Εικόνα 4.46 : Αφαίρεση των μισών πολυγώνων του αμαξώματος.



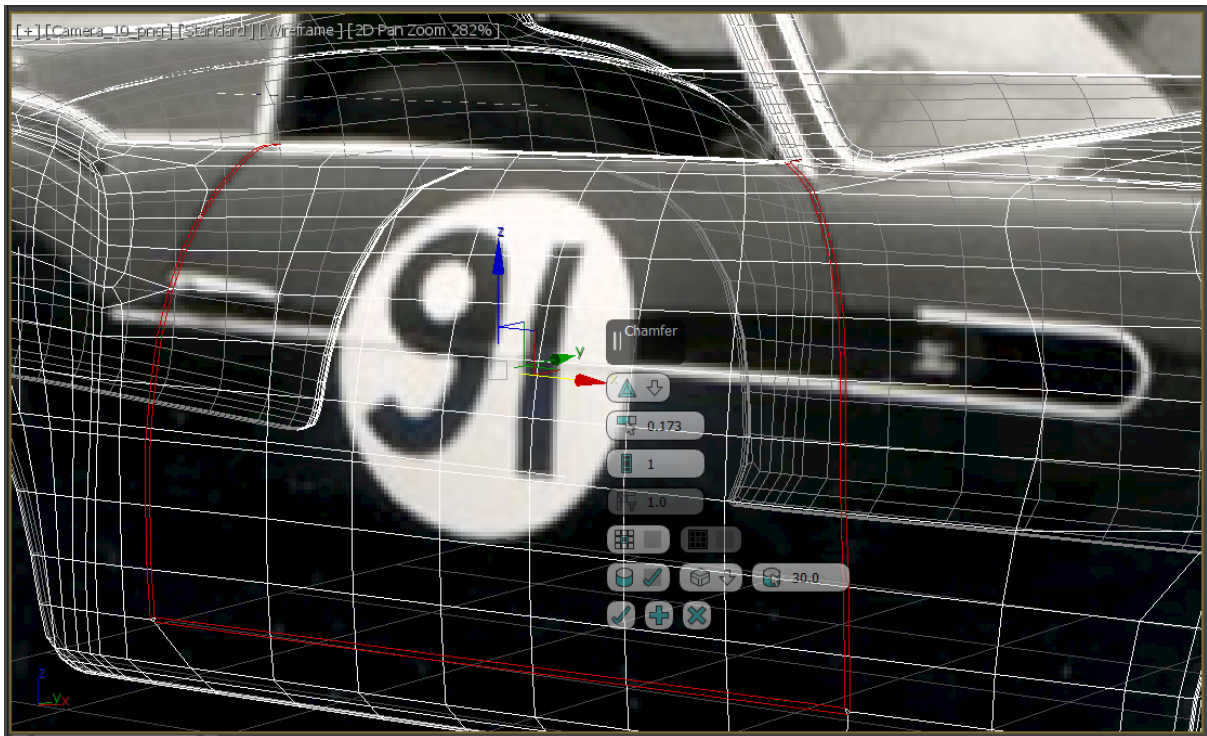
Εικόνα 4.47 : Δημιουργία ακμών στην θέση των ακμών της πόρτας.

Αφού διπλασιαστούν οι ακμές αυτές (εικόνα 4.48), γίνεται εξώθηση των πολυγώνων μεταξύ των ακμών για να είναι όσο πιο κοντά γίνεται στα panels του πραγματικού αυτοκινήτου (εικόνα 4.49, 4.50).

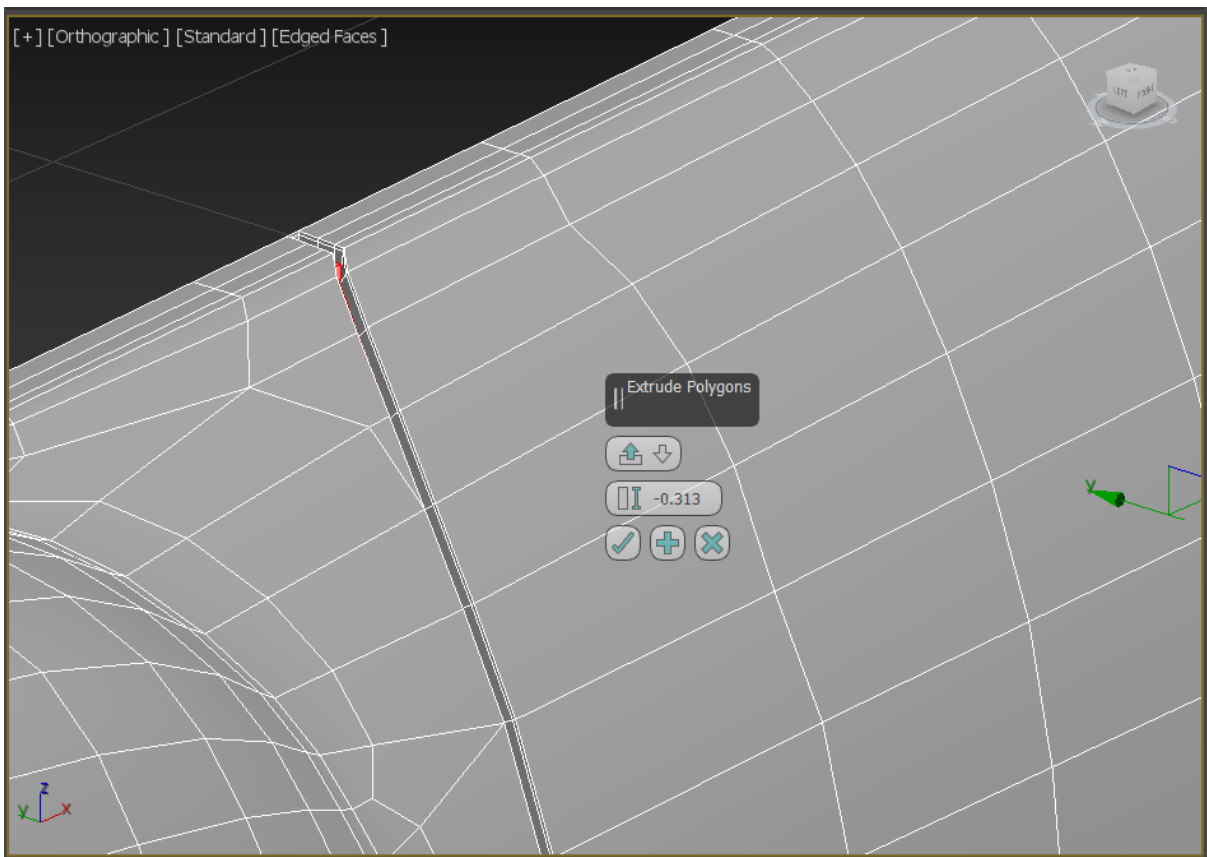




Εικόνα 4.48 : Δημιουργία “offset” ακμών με βάση τις προηγούμενες, ώστε να ταιριάζουν στο πάχος των αρμών του αυτοκινήτου.

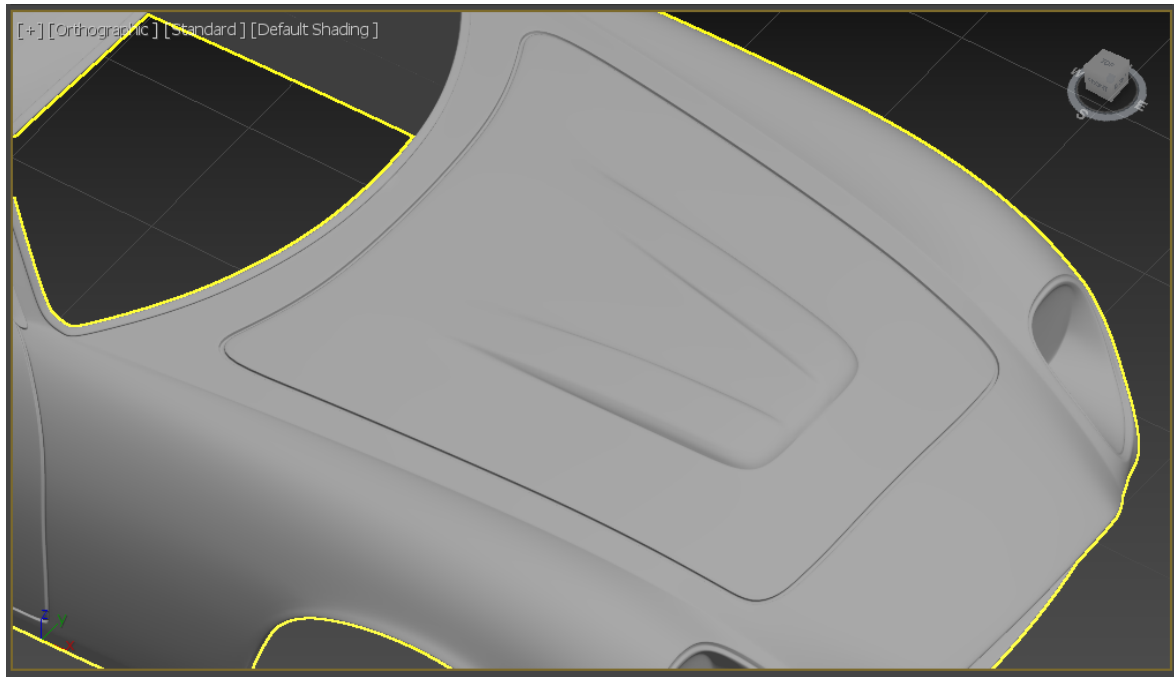


Εικόνα 4.49 : Επαλήθευση της θέσης των ακμών με μια φωτογραφία του αυτοκινήτου.

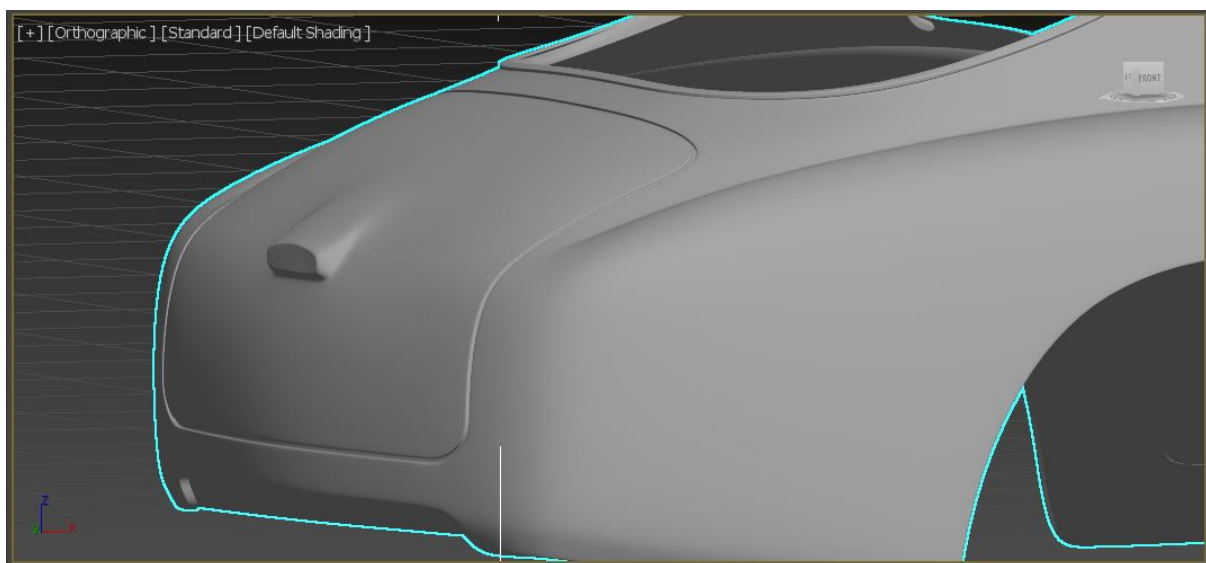


Εικόνα 4.50 : Εξώθηση των ακμών προς τα μέσα, για την απόδοση του βάθους που έχουν οι αρμοί των πορτών του πραγματικού αυτοκινήτου.

Έπειτα ακολουθεί η ίδια διαδικασία για τους αρμούς το καπό του αυτοκινήτου (εικόνα 4.51), καθώς και για το πίσω πάνελ (εικόνα 4.52).



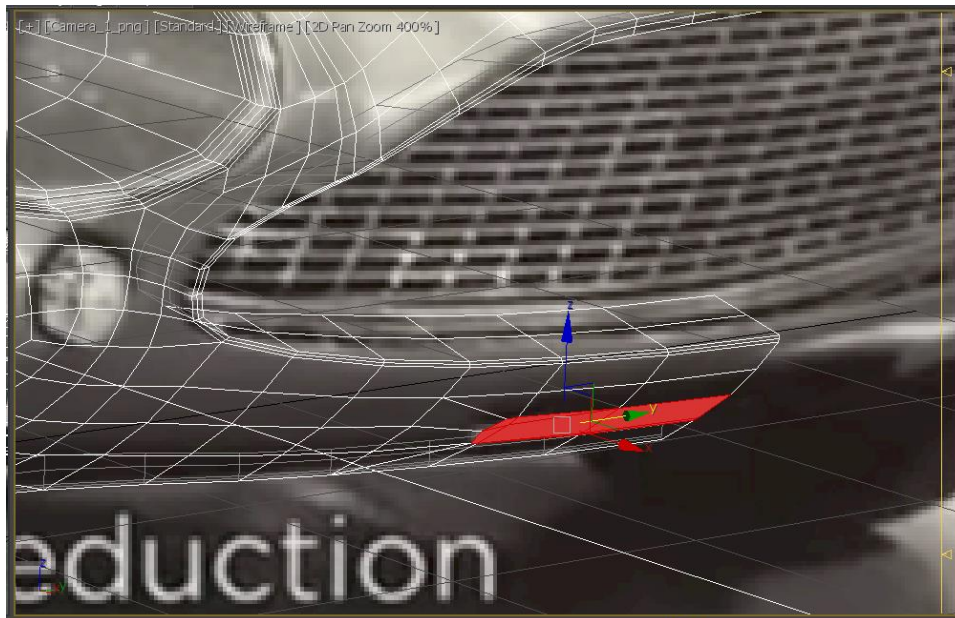
Εικόνα 4.51 : Δημιουργήθηκαν οι αρμοί του καπό.



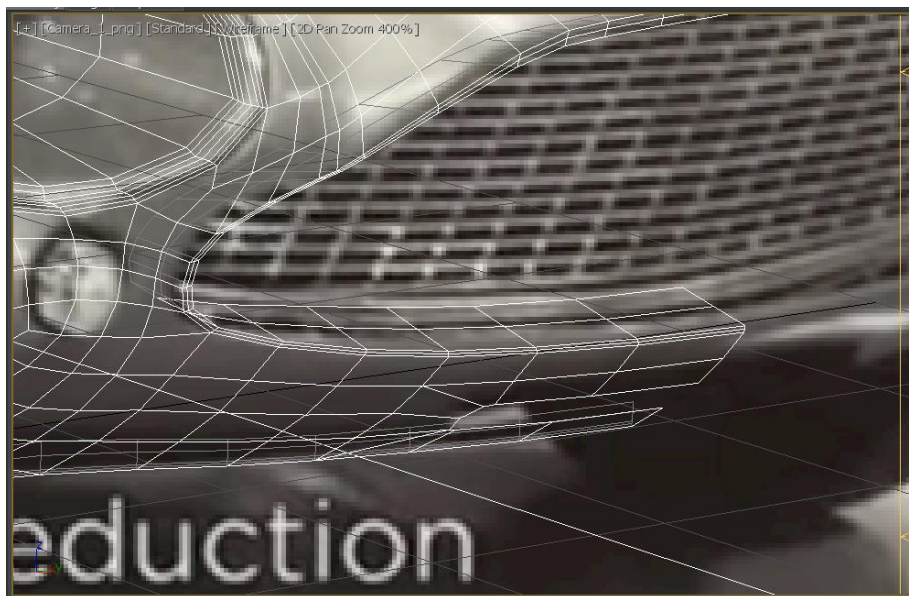
Εικόνα 4.52 : Δημιουργήθηκαν οι αρμοί του αποθηκευτικού χώρου.

#### 4.2.10 Δημιουργία ανοίγματος εμπρός αεραγωγού

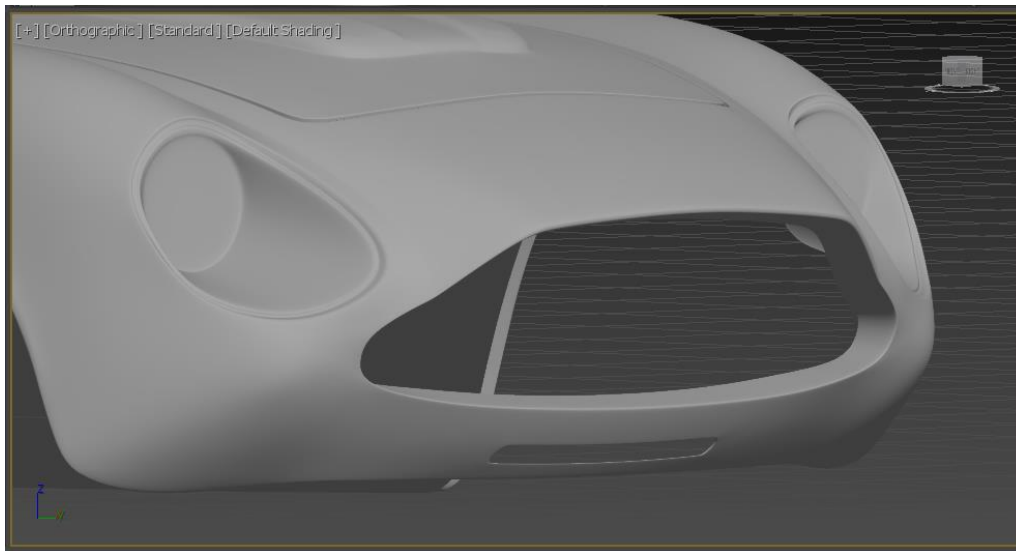
Στο εμπρός μέρος του αυτοκινήτου, κάτω από την κύρια γρύλλια του, υπάρχει ένας μικρότερος αεραγωγός. Με βάση την εικόνα του πραγματικού αυτοκινήτου, ακολουθεί η δημιουργία ενός "κενού" στο πολυγωνικό πλέγμα, το οποίο ανταποκρίνεται στον αεραγωγό αυτόν (εικόνα 4.53, 4.54). Το αποτέλεσμα της επέμβασης αυτής φαίνεται στην εικόνα 4.55.



Εικόνα 4.53 : Επιλογή των πολυγώνων που καλύπτουν τον μικρό αεραγωγό .



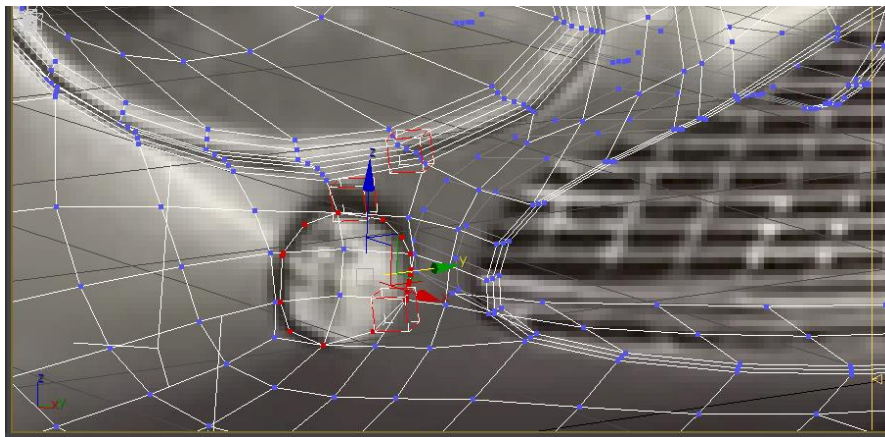
Εικόνα 4.54 : Αφαίρεση των πολυγώνων που καλύπτουν τον μικρό αεραγωγό.



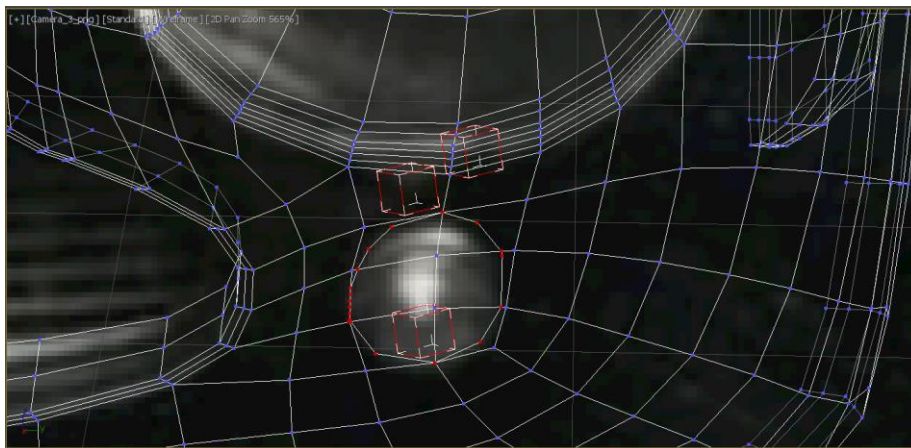
Εικόνα 4.55 : Το αποτέλεσμα της μοντελοποίησης του αεραγωγού.

#### 4.2.12 Δημιουργία βάσης εμπρόσθων μικρών φωτιστικών μερών

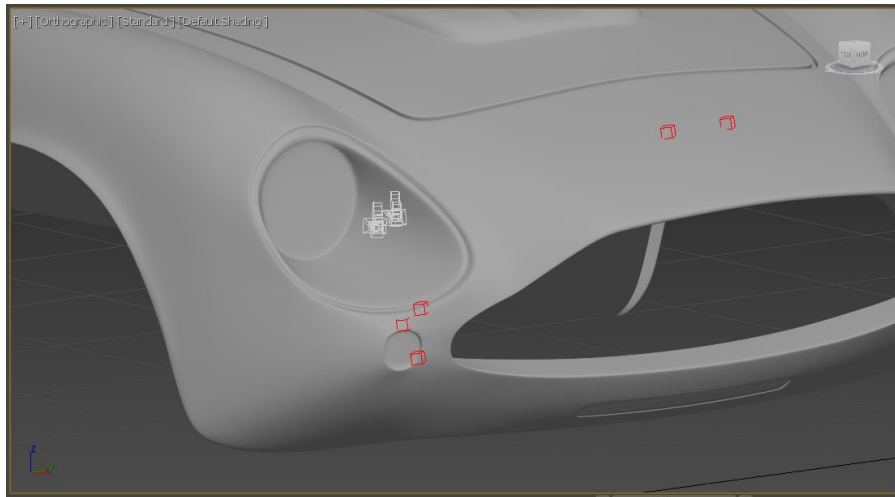
Επίσης, μιας και το αυτοκίνητο έχει 2 μικρά φώτα κάτω από τα κύρια του, θα πρέπει να δημιουργηθεί μια επιφάνεια - βάση για την δημιουργία τους σε επόμενο στάδιο. Ακολουθεί ο σχηματισμός μιας κυκλικής σειράς ακμών (εικόνα 4.56, 4.57) η οποία περικυκλώνει την βάση των μικρών φωτιστικών σωμάτων (εικόνα 4.58).



Εικόνα 4.55 : Δημιουργία και ταύτιση ακμών γύρω από τα εμπρόσθια “φλας”.

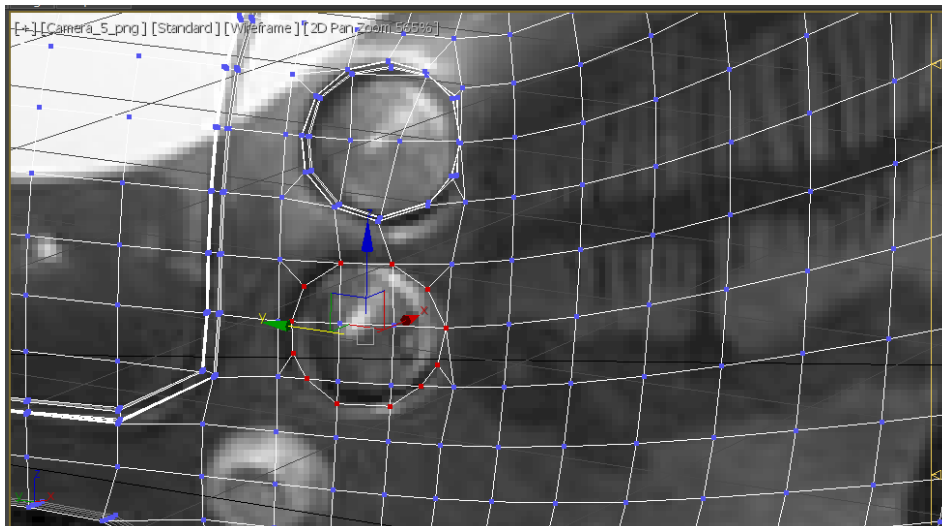


Εικόνα 4.56 : Έλεγχος της θέσης των ακμών που δημιουργήθηκαν στην εικόνα 4.55 στην αριστερή πλευρά του αυτοκινήτου.

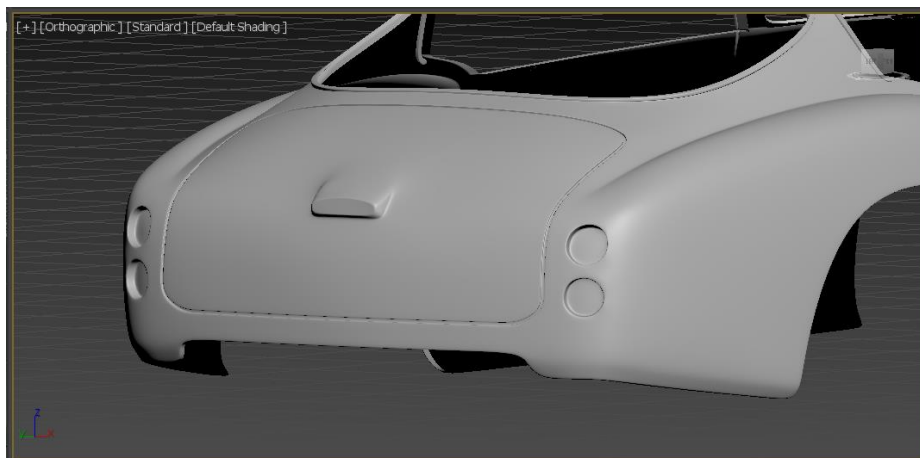


Εικόνα 4.57 : Εξώθηση των πολυγώνων προς τα μέσα ώστε να υπάρχει η “βάση” για τα φλας.  
 4.2.12 Δημιουργία βάσης οπίσθιων φωτιστικών μερών

Επειτα, ακολουθεί η δημιουργία των βάσεων των πίσω φωτιστικών σωμάτων (εικόνα 4.58), όπου το αποτέλεσμα των εργασιών φαίνεται στην εικόνα 4.59.



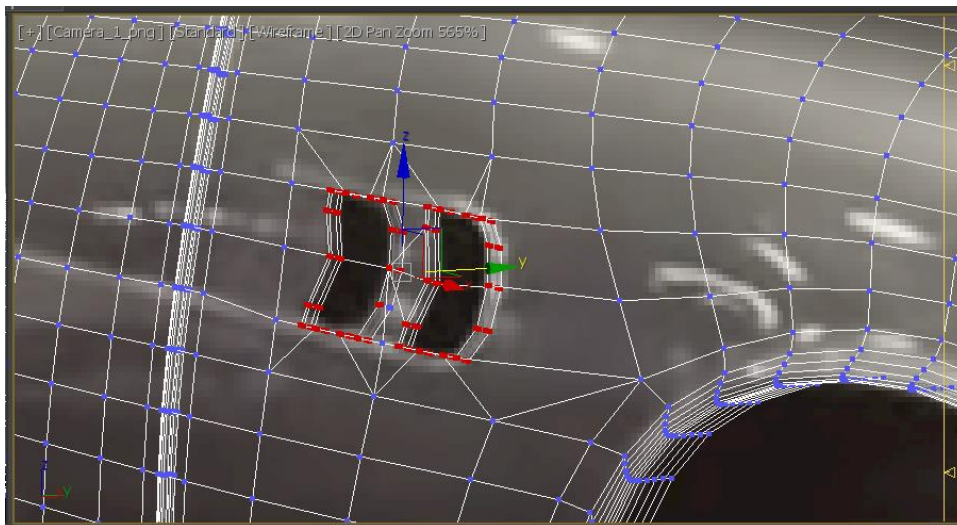
Εικόνα 4.58 : Δημιουργία και ταύτιση ακμών γύρω από τα πίσω φωτιστικά μέρη.



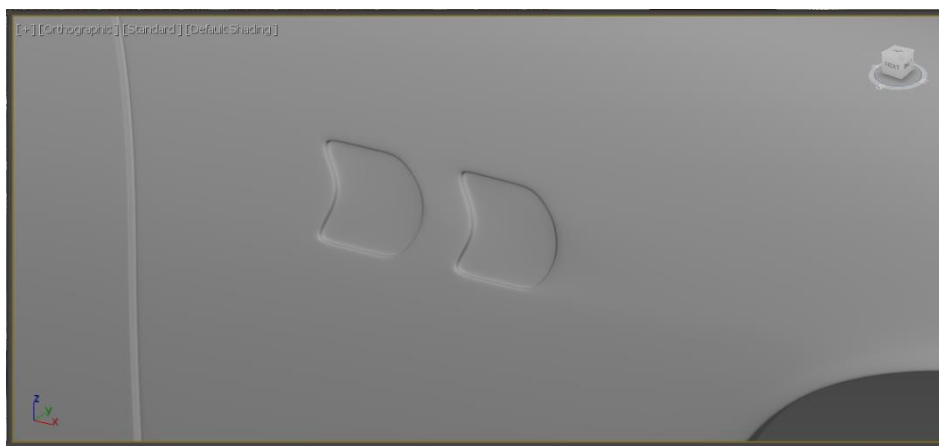
Εικόνα 4.59 : το αποτέλεσμα της μοντελοποίησης των βάσεων των πίσω φωτιστικών μερών.

### 4.2.13 Δημιουργία ανοίγματος ηλαϊνών αεραγωγών

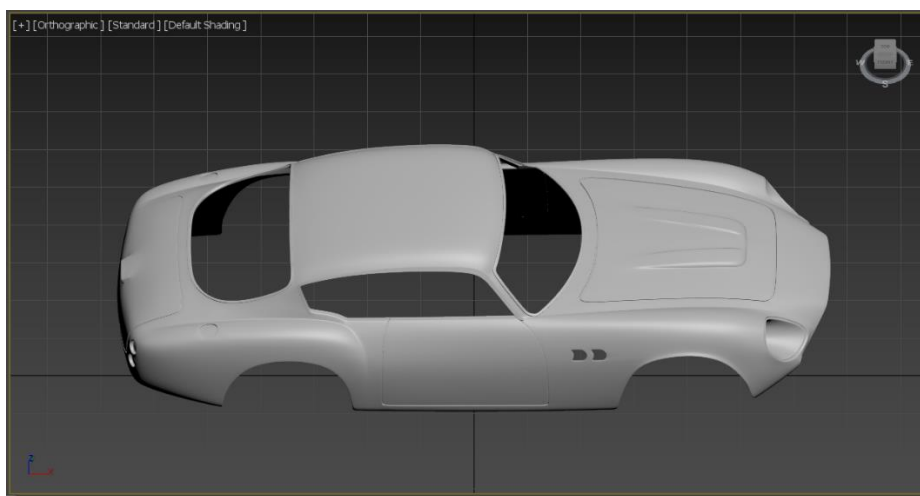
Το αμάξιμα έχει δύο αεραγωγούς στο ηλαί του. Αφού δημιουργήθηκαν οι ακμές αηλά και η σύγκριση με τις φωτογραφίες του ηραγματικού (εικόνα 4.60), τα ηολύγωνα αυτά (εικόνα 4.61), ηια να αποτελέσουν τρύπες, έηρηπε να διαγραφούν, όηως βηέηουμε στην εικόνα 4.62.



Εικόνα 4.60 : Δημιουργία ακμών στο σχήμα των ηλαϊνών αεραγωγών.



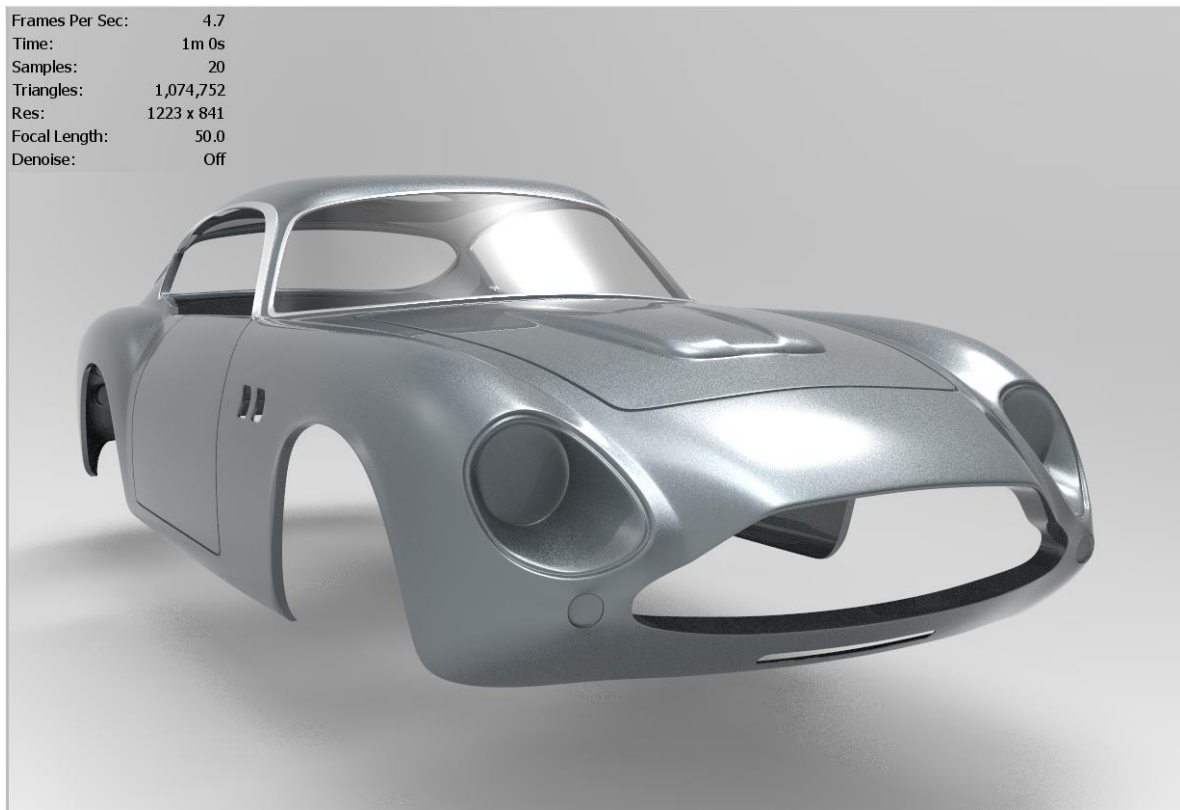
Εικόνα 4.61 : το αποτέλεσμα της μοντελοποίησης πριν “ανοιχτούν” οι τρύπες των αεραγωγών.



Εικόνα 4.62 : το αμάξιμα, έπειτα από το άνοιγμα των αεραγωγών.

#### 4.2.14 Οπτικός έλεγχος

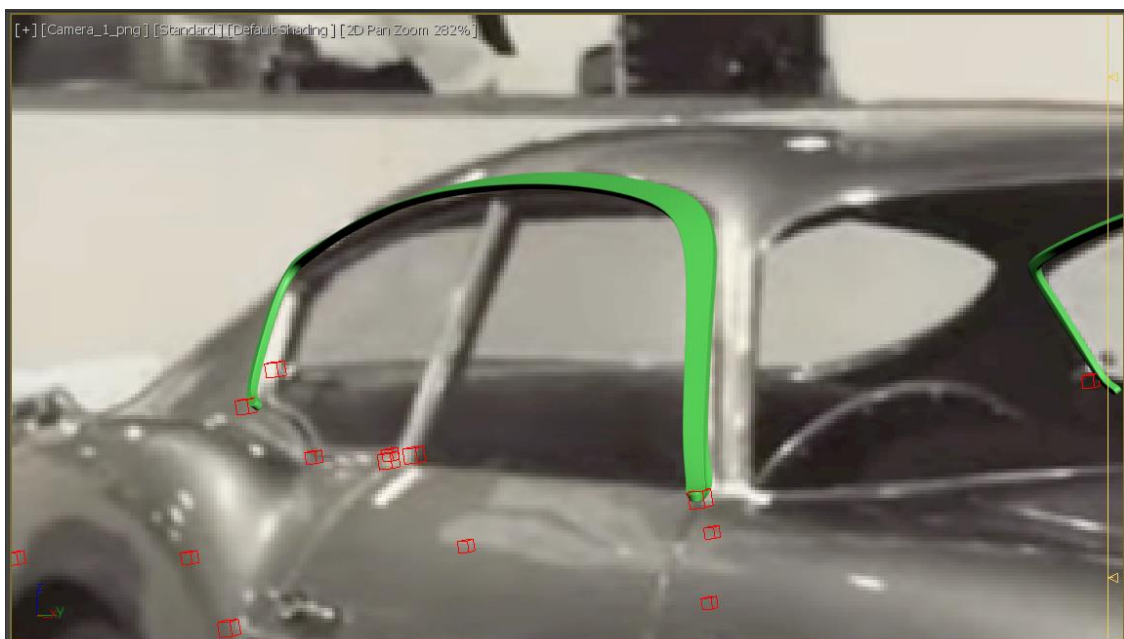
Στην συνέχεια ακολούθησε άμεσα ένας οπτικός έλεγχος στο λογισμικό Keyshot (εικόνα 4.63).



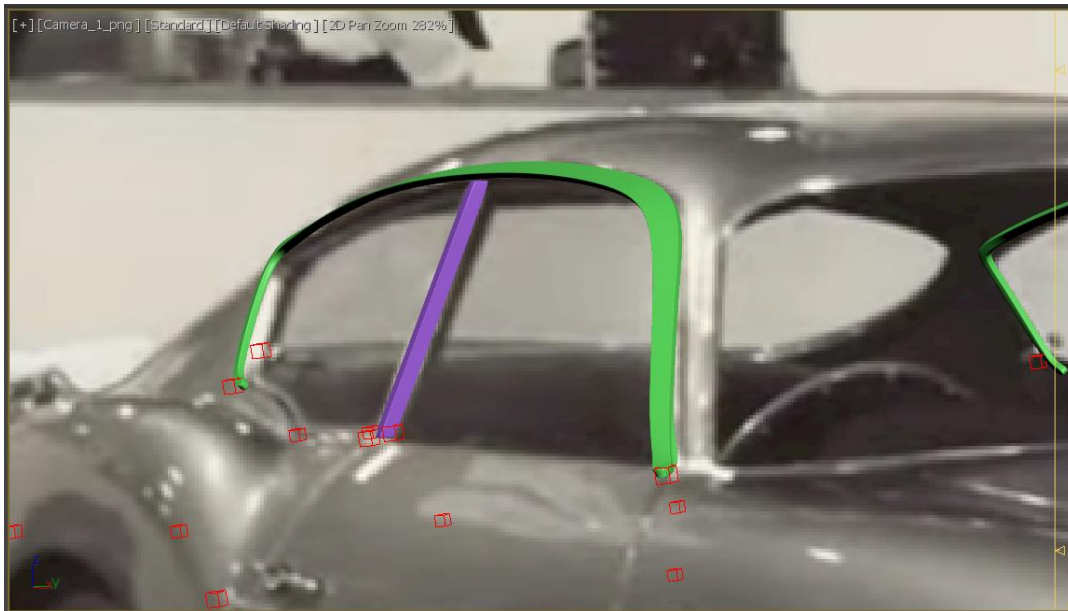
Εικόνα 4.63 : Εισαγωγή του μοντέλου στο λογισμικό Keyshot.

#### 4.2.15 Δημιουργία μεταλλικών στοιχείων των παραθύρων και του ηλαϊνού διακοσμητικού

Τα ηλαϊνά παράθυρα εμπεριέχουν πολλαπλά στοιχεία τα οποία πρέπει να μοντελοποιηθούν. Ξεκινώντας από το εξωτερικό μεταλλικό trim (εικόνα 4.64), ακολούθησε η δημιουργία του B Pillar (εικόνα 4.65).

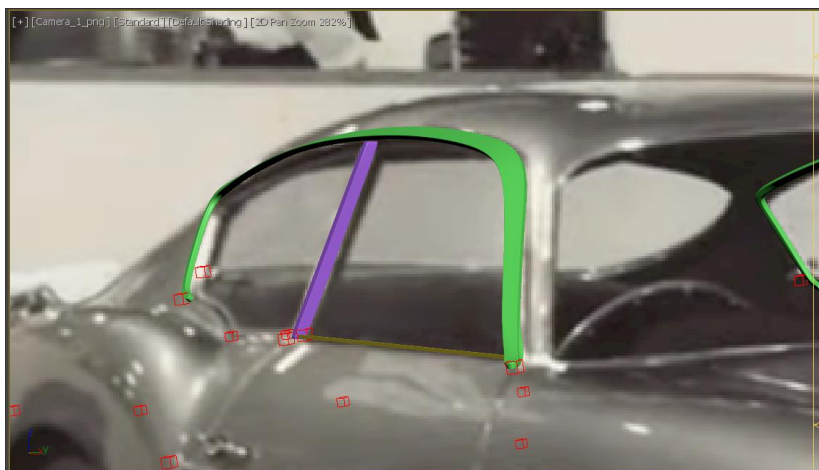


Εικόνα 4.64 : Δημιουργία του μεταλλικού μέρους που περιβάλλει τα πλαϊνά παράθυρα.

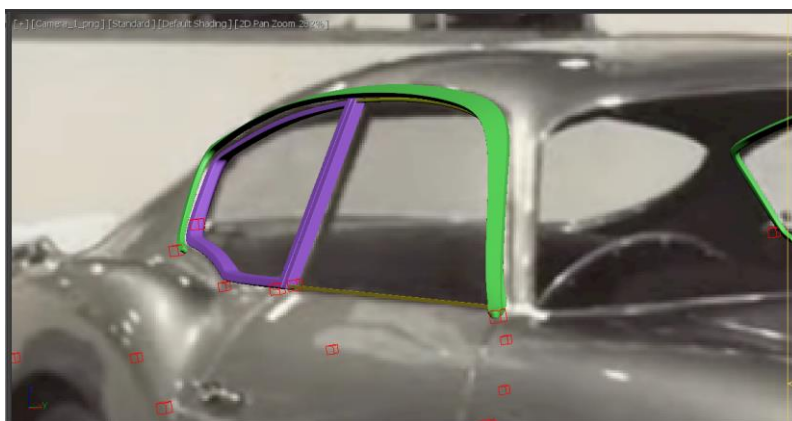


Εικόνα 4.65 : Δημιουργία του B-Pillar.

Ακολουθεί η πρόσθεση ενός ακόμη τμήματος το οποίο βρίσκεται στο κάτω μέρος του εμπρός παραθύρου (εικόνα 4.66). Στην συνέχεια, ακολουθεί η μοντελοποίηση της μεταλλικής "κορνίζας" που εμπεριέχει το πίσω ηλιανό παράθυρο (εικόνα 4.67).



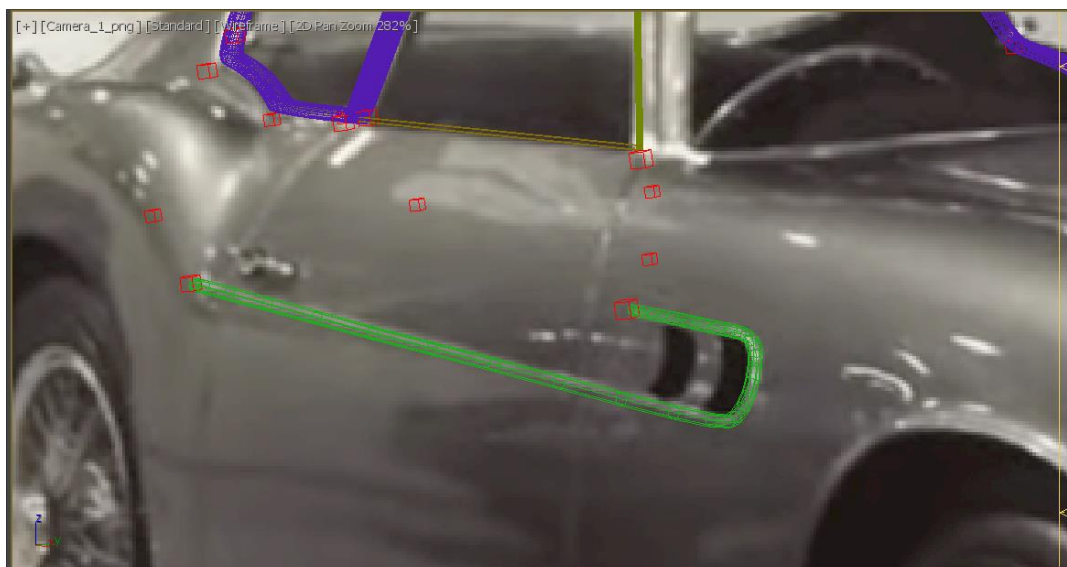
Εικόνα 4.66 : Δημιουργία μεταλλικού μέρους στο κάτω μέρος του εμπρόσθιου παραθύρου.



Εικόνα 4.67 : Μοντελοποίηση μεταλλικής "κορνίζας" του πίσω παραθύρου.



Φυσικά δεν θα μπορούσε να αποτελεί εξαίρεση η μεταλλική διακοσμητική γραμμή, η οποία "αγκαλιάζει" τους ηθαινους αεραγωγούς, και συνεχίζει προς τα πίσω (εικόνα 4.68, 4.69).



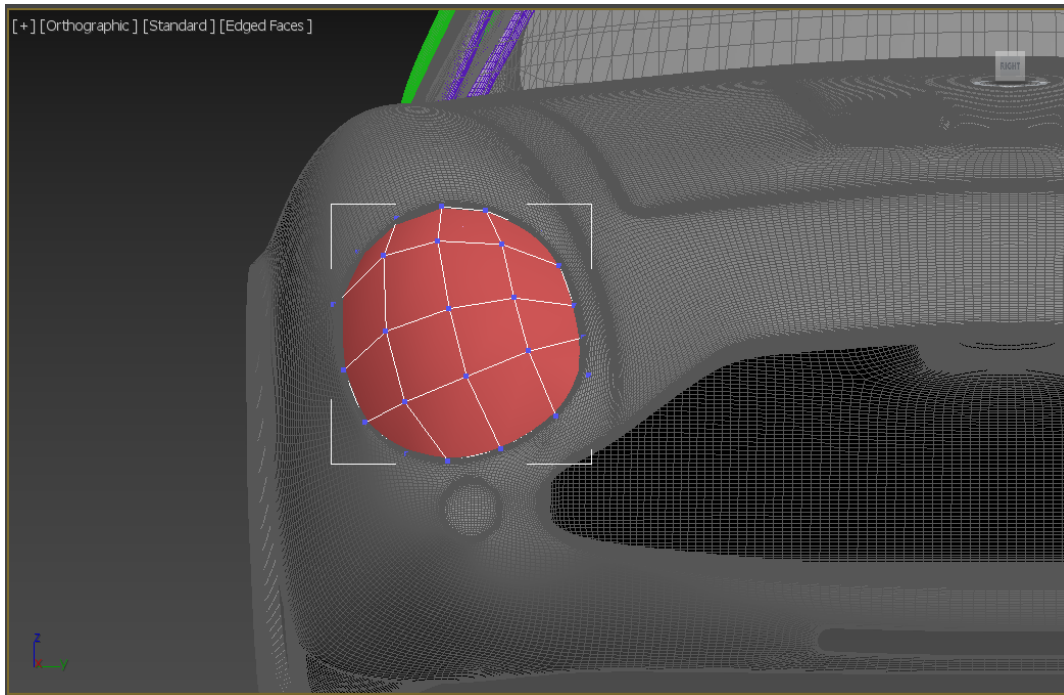
Εικόνα 4.68 : Μοντελοποίηση του πλαϊνού διακοσμητικού.



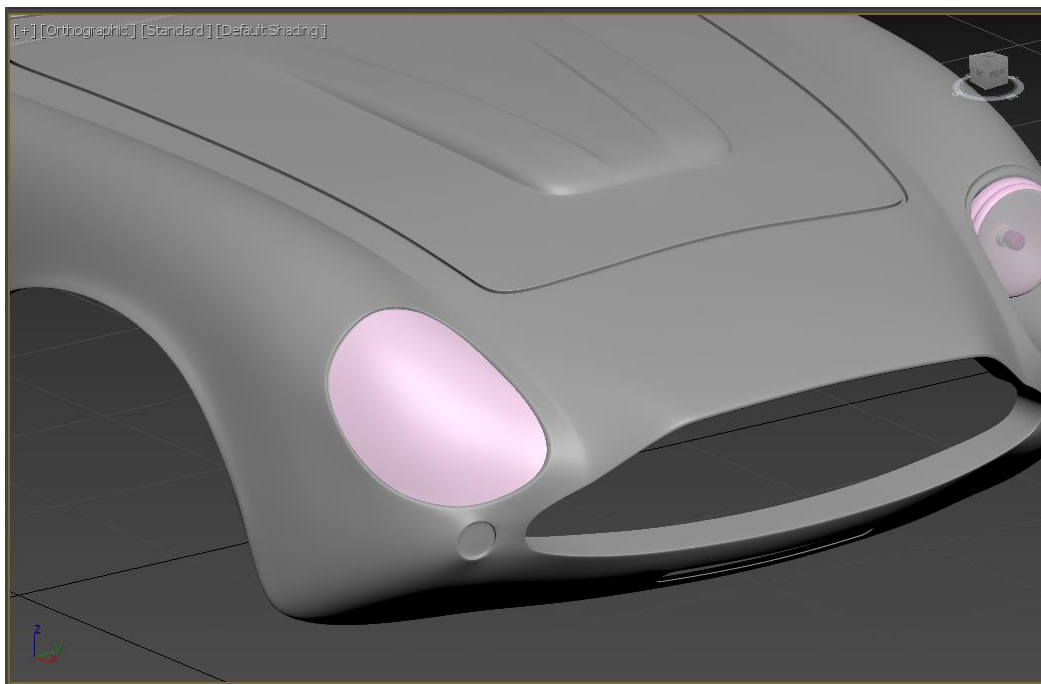
Εικόνα 4.69 : Έλεγχος του μοντέλου του πλαϊνού διακοσμητικού από άλλη οπτική γωνία.

#### 4.2.16 Δημιουργία διάφανων καλυμμάτων των εμπρόσθιων φωτιστικών μερών

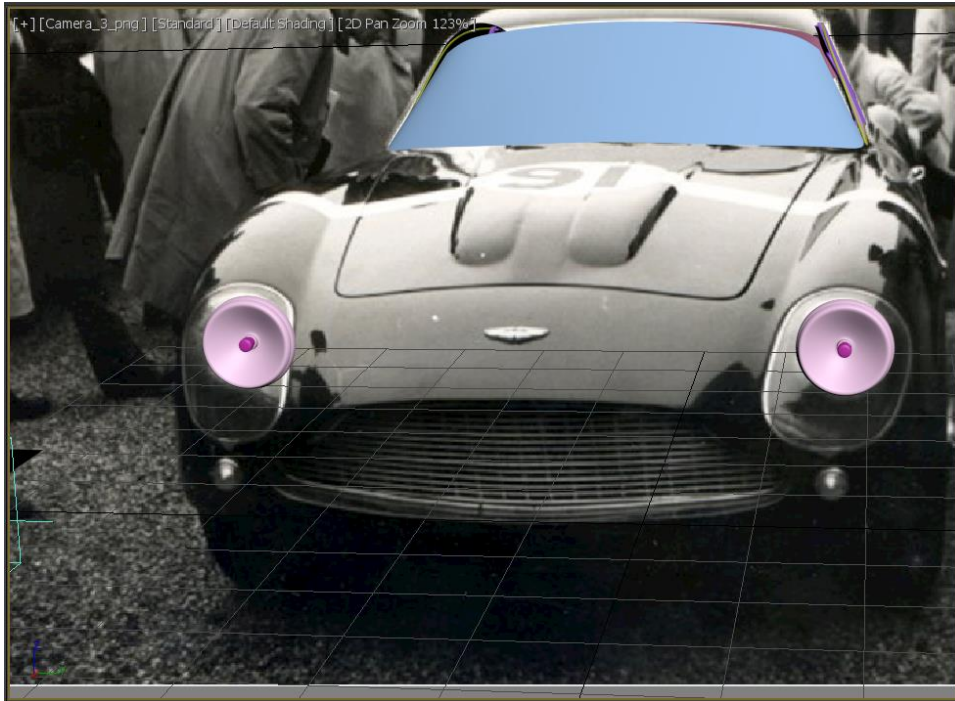
Στην συνέχεια, έχουν σειρά τα εμπρόσθια φωτιστικά σώματα (εικόνα 4.72) καθώς και τα διάφανα καλύμματα τους (εικόνα 4.70, 4.71).



Εικόνα 4.70 : Μοντελοποίηση του διάφανου καλύμματος των φωτιστικών μερών στη βασική του μορφή.



Εικόνα 4.71 : Εφαρμογή του Turbosmooth στο μοντέλο του διάφανου καλύμματος των φωτιστικών μερών.



Εικόνα 4.72 : Δημιουργία του μοντέλου των λαμπτήρων με βάση την φωτογραφία του πραγματικού αυτοκινήτου.

#### 4.2.17 Οπτικός έλεγχος

Έχοντας κάνει όλες αυτές τις διαδικασίες, ακολούθησε οπτικός έλεγχος στο λογισμικό Keyshot (εικόνα 4.73).

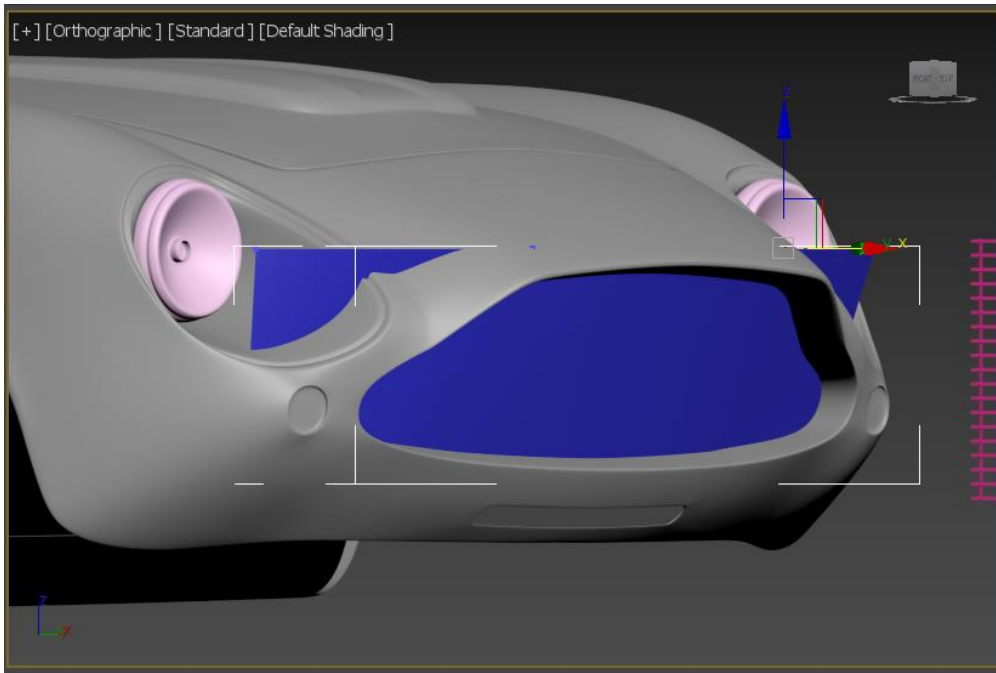


Εικόνα 4.73 : Εισαγωγή του μοντέλου στο περιβάλλον του λογισμικού Keyshot για φωτορεαλιστική απεικόνιση.

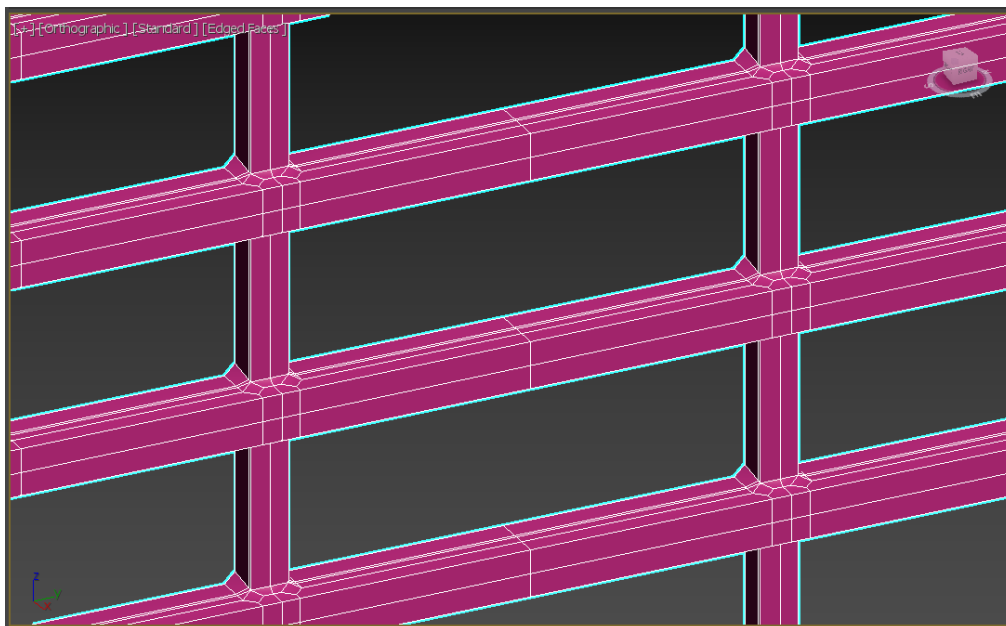
#### 4.2.18 Δημιουργία εμπρόσθιας γρίλιας & διαφόρων μεταλλικών στοιχείων του εμπρός μέρους

Έπειτα, για να μοντελοποιηθεί η εμπρόσθια γρίλια, δημιουργήθηκε μια νέα επίπεδη επιφάνεια, η οποία προσαρμόστηκε στο εσωτερικό του μηροστινού μέρους του αυτοκινήτου, της οποίας η γρίλια θα πάρει την θέση της (εικόνα 4.74).

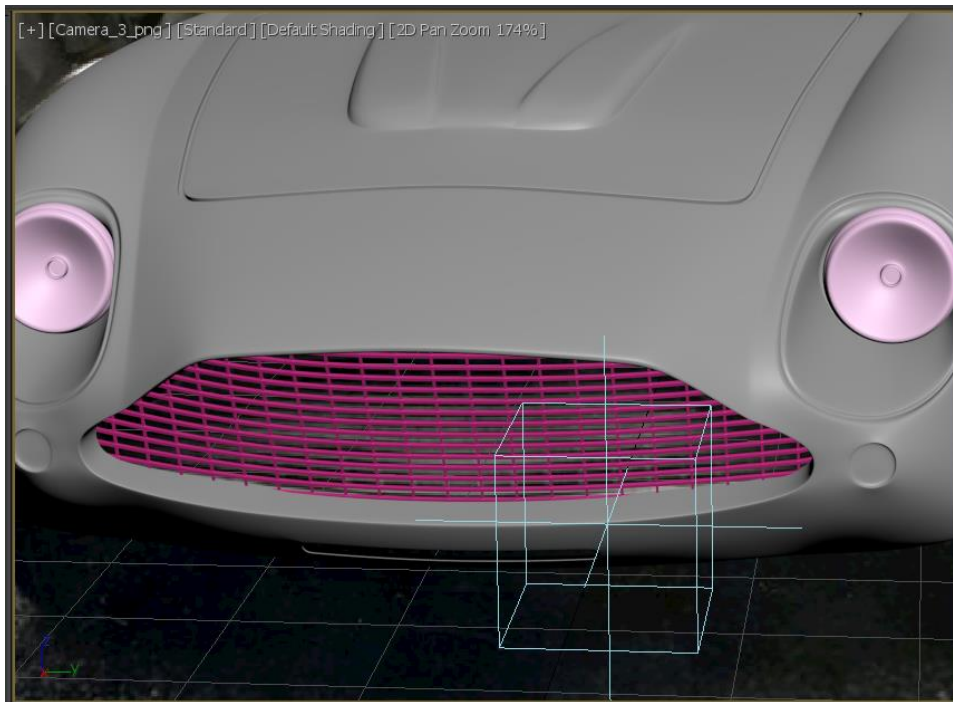
Στην συνέχεια, ακολούθησε η μοντελοποίηση της γρίλιας (εικόνα 4.75), το οποίο προσαρμόστηκε πάνω στην επιφάνεια που δημιουργήθηκε νωρίτερα (εικόνα 4.76).



Εικόνα 4.74 : Δημιουργία επιφάνειας στην οποία θα τοποθετηθεί το μοντέλο της γρίλιας.

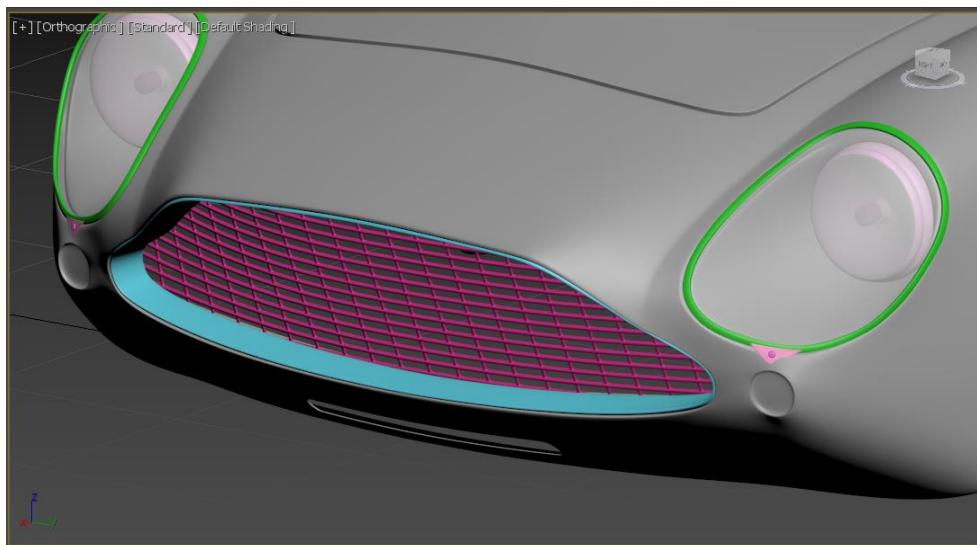


Εικόνα 4.75 : δημιουργία μοντέλου γρίλιας στο επίπεδο.



Εικόνα 4.76 : Τοποθέτηση του μοντέλου της γρίλιας στην θέση της επιφάνειας της εικόνας 4.74.

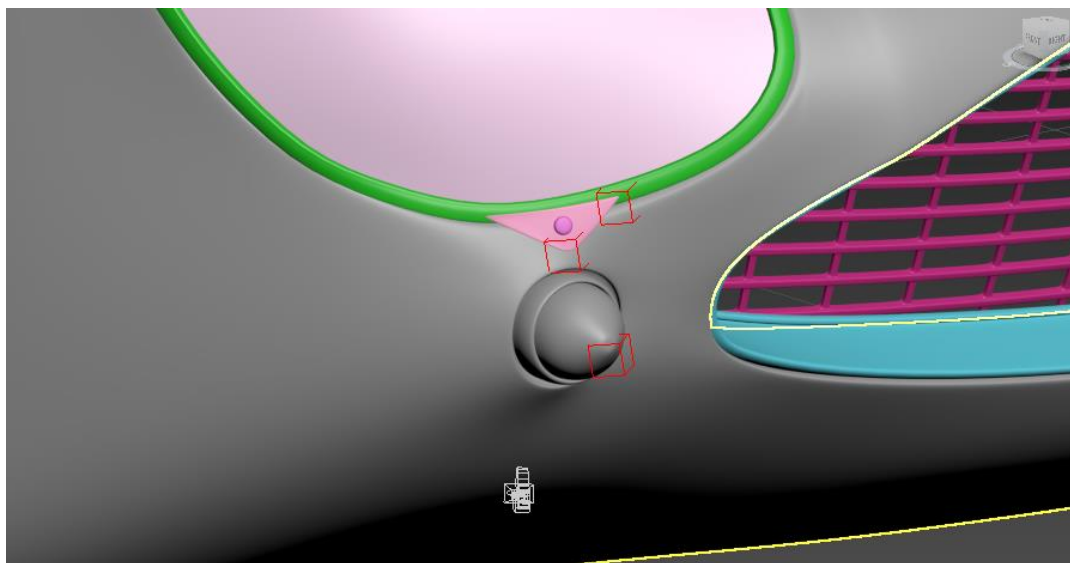
Ένα άλλο τμήμα το οποίο πρέπει να δημιουργηθεί, είναι το μεταλλικό εσωτερικό "περίγραμμα" της γρίλιας, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.77.



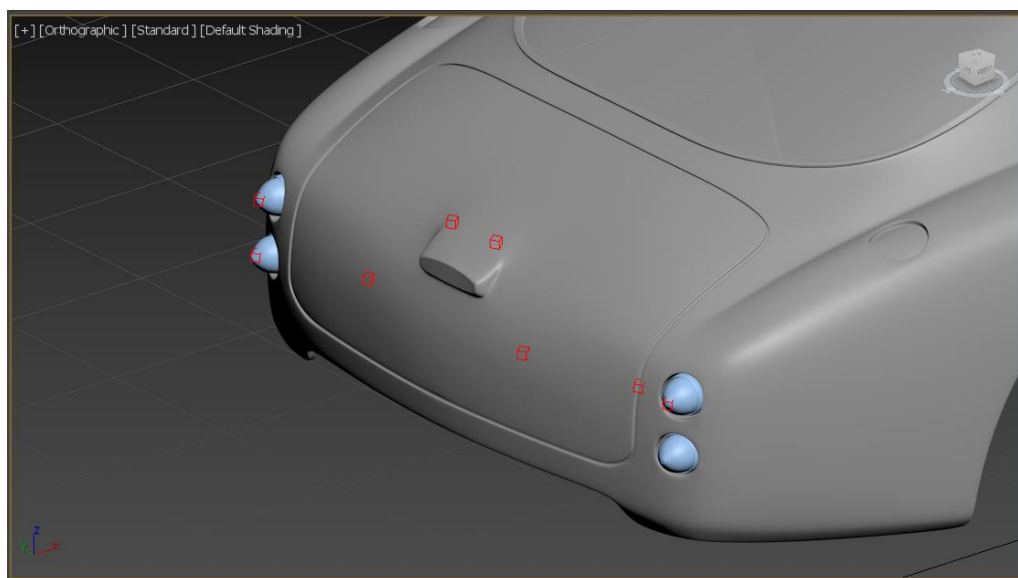
Εικόνα 4.77 : Δημιουργία μεταλλικού περιγράμματος-trim της εμπρόσθιας μάσκας του αυτοκινήτου.

#### 4.2.19 Δημιουργία εμπρόσθιων μικρών φωτιστικών μερών & πίσω φωτιστικών μερών

Εφόσον δημιουργήθηκαν οι βάσεις για τα μικρά φωτιστικά σώματα, μοντελοποιήθηκαν και αυτά, καθώς και τα πίσω. (εικόνα 4.78, 4.79).



Εικόνα 4.78 : Δημιουργία εμπρόσθιων φλας.



Εικόνα 4.79 Δημιουργία πίσω φωτιστικών μερών.

#### 4.2.20 Δημιουργία υαλοκαθαριστήρων

Επόμενο βήμα, η μοντελοποίηση των υαλοκαθαριστήρων. Στο συγκεκριμένο αυτοκίνητο, κοιτώντας τις διάφορες διαθέσιμες φωτογραφίες από τους αγώνες της εποχής, οι υαλοκαθαριστήρες άλλαζαν συχνά θέση. Γι'αυτό, τους μοντελοποιήθηκαν σε σχέση με το πως ήταν όταν παρουσιάστηκε στην έκθεση, αλλά και στις εικόνες 4.80, 4.81.



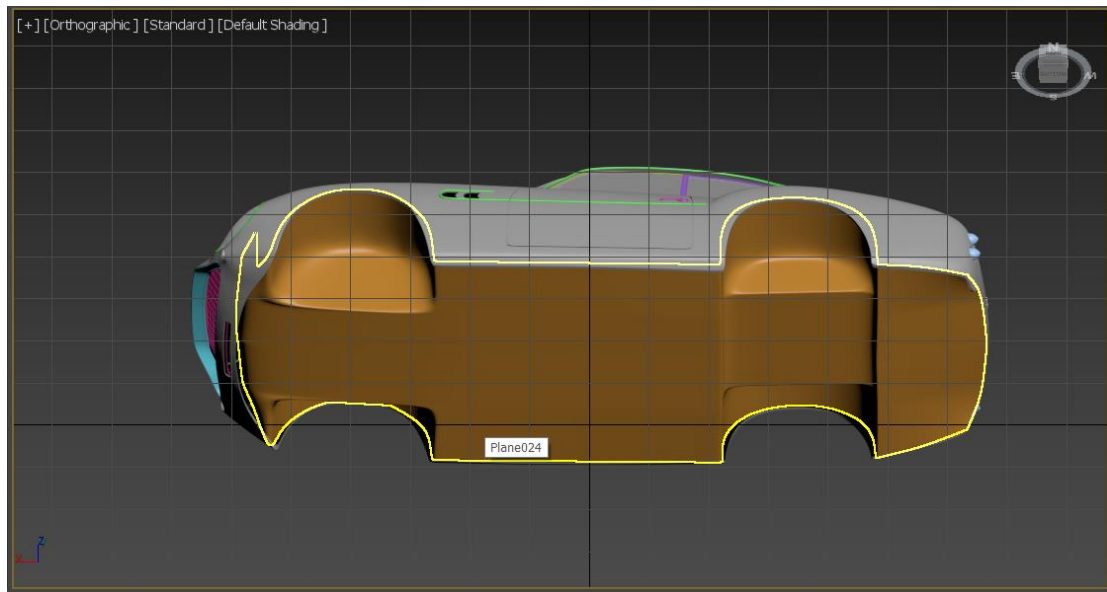
Εικόνα 4.80 : Δημιουργία των υαλοκαθαριστήρων και ταύτιση τους με τους υαλοκαθαριστήρες της φωτογραφίας.



Εικόνα 4.81 : Δημιουργία των υαλοκαθαριστήρων και ταύτιση τους με τους υαλοκαθαριστήρες της φωτογραφίας.

#### 4.2.21 Δημιουργία βάσης στο κάτω μέρος του αυτοκινήτου

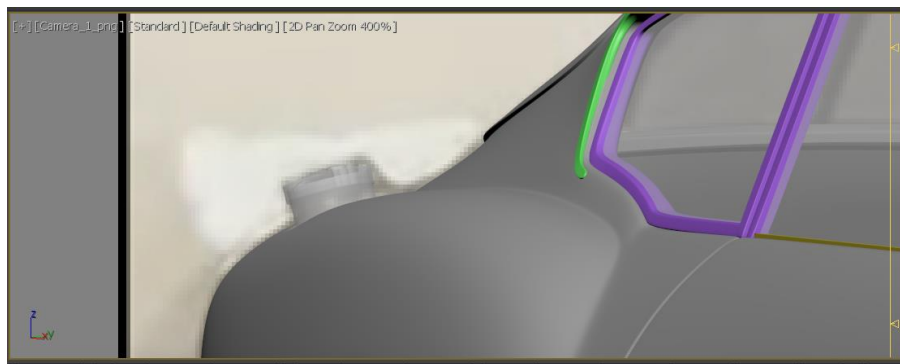
Για λόγους που αφορούν καθαρά την αισθητική στα renderings, δημιουργήθηκε μια "βάση" στο κάτω μέρος του αυτοκινήτου. (εικόνα 4.82)



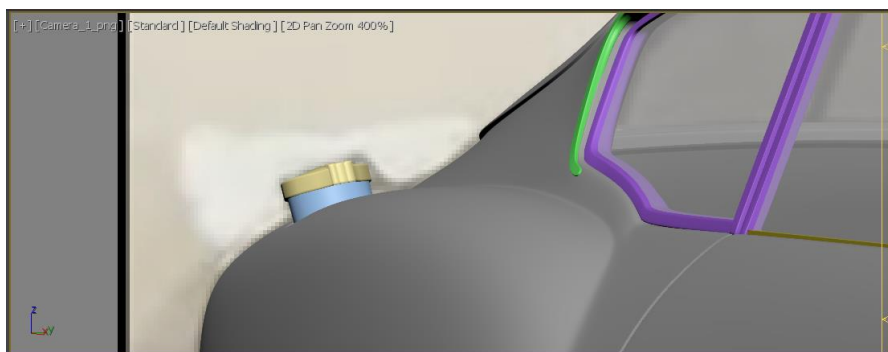
Εικόνα 4.82 : Δημιουργία "πατώματος" στο κάτω μέρος του αυτοκινήτου.

#### 4.2.22 Δημιουργία εισαγωγών καυσίμου

Στην συνέχεια, μοντελοποιήθηκαν τα καπάκια του ντεπόζιτου του αυτοκινήτου, τα οποία εξείχαν σε μεγάλο βαθμό στην αρχική του παρουσίαση (εικόνα 4.83, 4.84).



Εικόνα 4.83

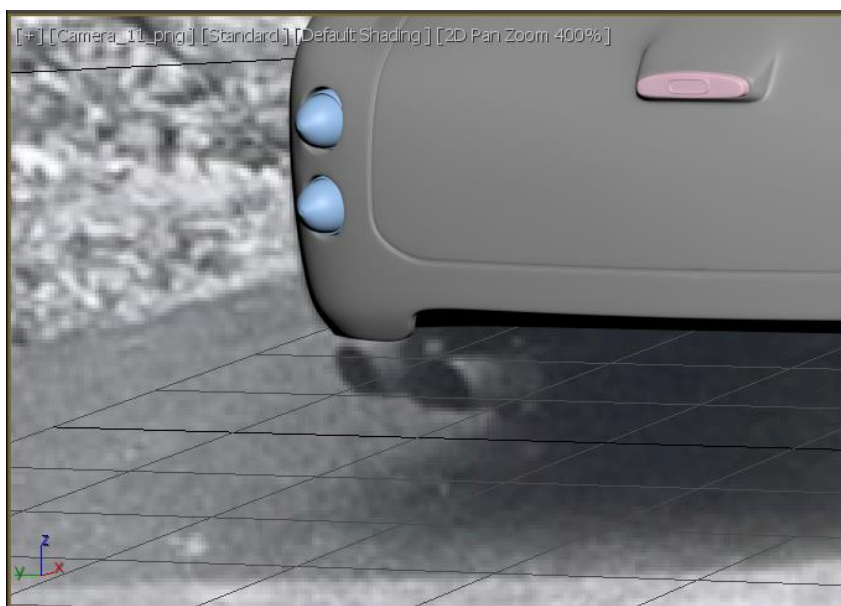


Εικόνα 4.84 : Δημιουργία της εισαγωγής καυσίμου.

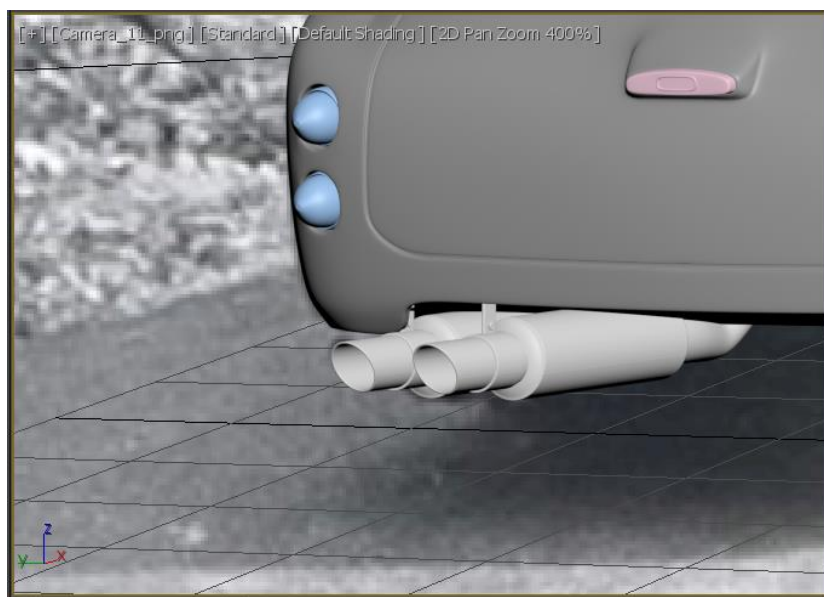


#### 4.2.23 Δημιουργία εξάτμισης

Επίσης, δημιουργήθηκε η εξάτμιση του αυτοκινήτου (εικόνα 4.85, 4.86).



Εικόνα 4.85



Εικόνα 4.86 : Δημιουργία του μοντέλου της εξάτμισης.

### 4.3 Οπτική αξιολόγηση του ψηφιακού οχήματος

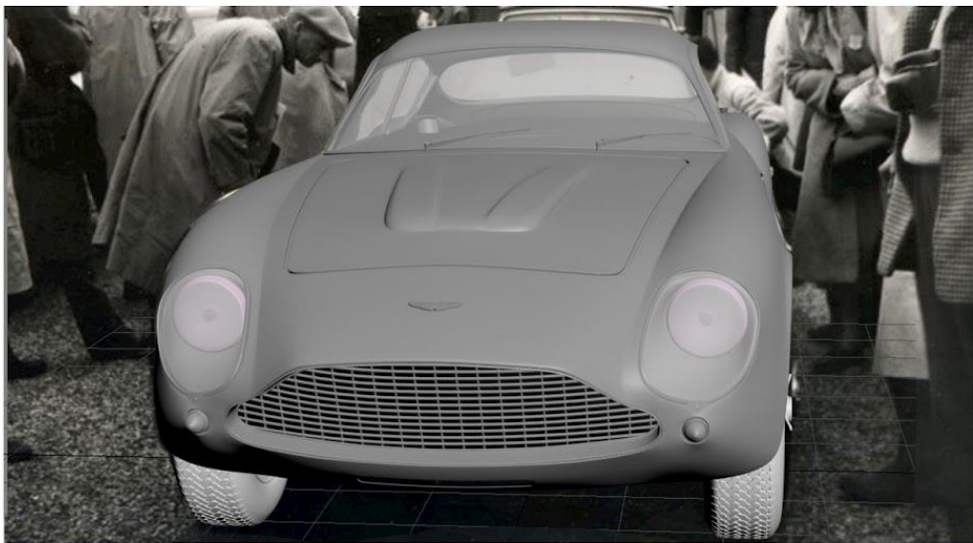
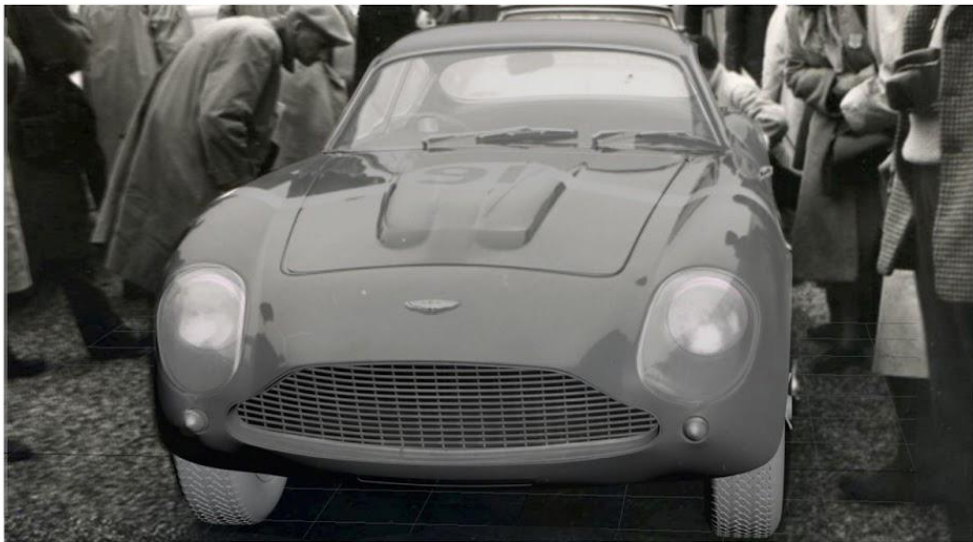
Έχοντας τελειώσει το στάδιο της μοντελοποίησης του αυτοκινήτου, η ενότητα αυτή έχει ως σκοπό την εκτίμηση του αποτελέσματος της μοντελοποίησης ως προς τις εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία του μοντέλου αυτού. Πιο συγκεκριμένα, αφορά το πόσο καλά το μοντέλο που δημιουργήθηκε μέσα από την διαδικασία που αναλύθηκε νωρίτερα προσεγγίζει οπτικά τις φωτογραφίες που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία του.

Ξεκινώντας από την εικόνα 4.87, το μοντέλο ταιριάζει με την εικόνα του πραγματικού αυτοκινήτου. Το ίδιο ισχύει και για την εικόνα 4.88. την εικόνα 4.90, υπάρχουν μερικές λεπτομέρειες διαφοροποίησης, όπως το διαφορετικό σχήμα που εξέχει στο καπό καθώς και τα πιο φαρδιά φτερά του αυτοκινήτου της φωτογραφίας διαφέρουν, αλλά η διαφορά αυτή είναι αναμενόμενη, καθώς το αυτοκίνητο είχε μετατραπεί σε αγωνιστικό και δέχθηκε αλλοιώσεις. Το ίδιο ισχύει και για τις εικόνες 4.90, 4.91 και 4.93. Ωστόσο, στην εικόνα 4.92 βλέπουμε πως υπάρχει μερική απόκλιση όσον αφορά την αριστερή πλευρά του αυτοκινήτου. Κρίνοντας από την καλή εφαρμογή του μοντέλου στις υπόλοιπες εικόνες, θεωρώ πως πιθανότατα ευθύνεται η προοπτική της συγκεκριμένης κάμερας (Camera\_10), η οποία πιθανότατα να μην βαθμονομήθηκε άριστα. Τέτοιες αποκλίσεις του μοντέλου σε σχέση με τις φωτογραφίες του, μπορούν να εντοριστούν και στις εικόνες 4.91, 4.94, 4.95, 4.96 και 4.97, στις οποίες τα A-pillars του μοντέλου φαίνονται να απέχουν από τα A pillars του αυτοκινήτου της φωτογραφίας, είτε πρόκειται για το δεξί είτε για το αριστερό pillar.

Κοιτώντας τις εικόνες του αυτοκινήτου όπου είναι διακριτή η αριστερή πλευρά του ( εικόνες 4.94, 4.95, 4.96 και 4.97 ) παρατήρησα πως δεν ταιριάζει η θέση του ηλαϊνού αεραγωγού του μοντέλου με αυτού της φωτογραφίας καθώς και του μεταλλικού διακοσμητικού στοιχείου που αγκαλιάζει τους ηλαϊνούς αεραγωγούς. Η ασυμμετρία αυτή πιθανότατα να είναι αμφισβητήσιμη, καθώς σε όλες σχεδόν τις φωτογραφίες αυτές βλέπουμε και κάποια σημεία του μοντέλου να μην ταυτίζονται με τα στοιχεία της φωτογραφίας (A-Pillars), πράγμα που σημαίνει πως οι κάμερες αυτές πιθανότατα να μην μπόρεσαν να ταυτιστούν πλήρως με την προοπτική των φωτογραφιών αυτών. Βλέποντας φωτογραφίες του αυτοκινήτου από την δεξιά πλευρά του (εικόνα 4.87, 4.88, 4.89, 4.90, 4.93), φαίνεται πως πολλά στοιχεία της αριστερής πλευράς του που είναι διακριτά (αριστερό A-pillar, B-Pillar, C-pillar, κενός χώρος εξαιτίας των παραθύρων) να ταιριάζουν τέλεια στο αριστερό του μέρος.



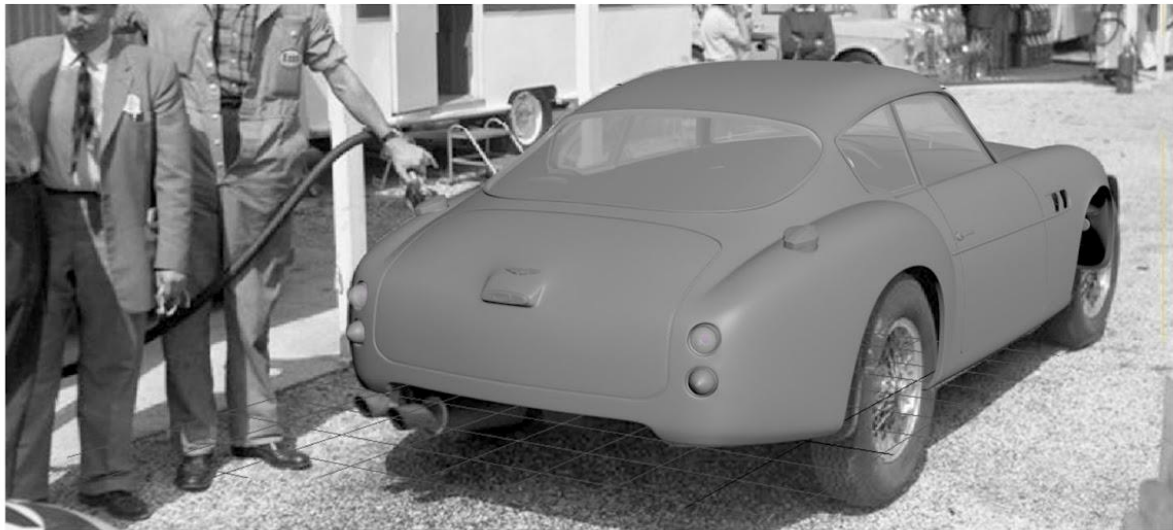
Εικόνα 4.87: Αποτέλεσμα της μοντελοποίησης μέσα από την Camera\_1



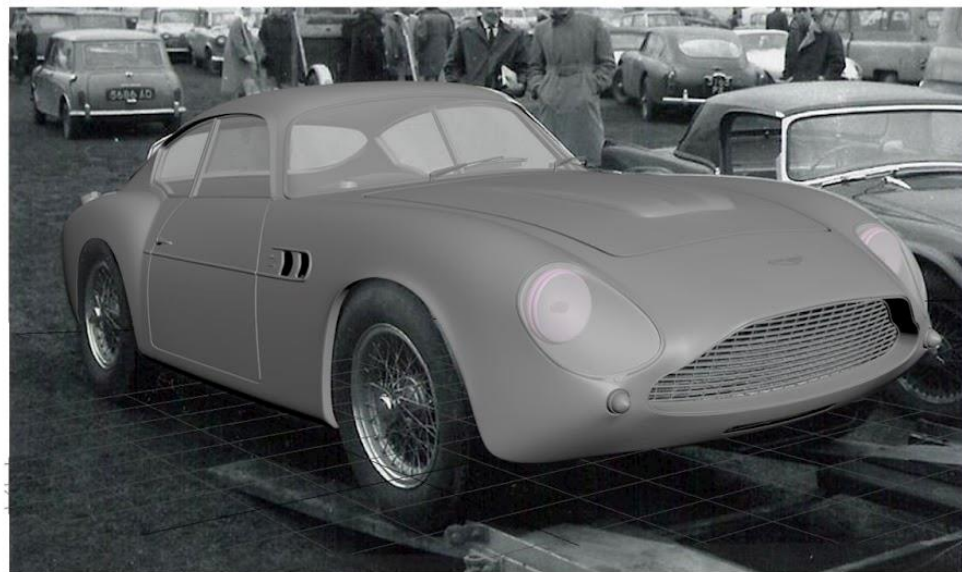
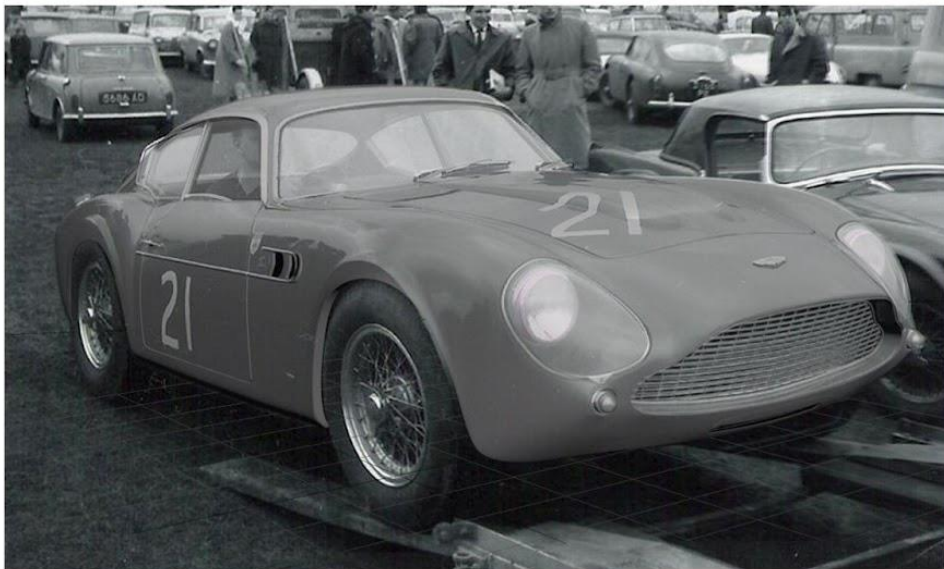
Εικόνα 4.88: Αποτέλεσμα της μοντελοποίησης μέσα από την Camera\_3



Εικόνα 4.89: Αποτέλεσμα της μοντελοποίησης μέσα από την Camera\_6



Εικόνα 4.90: Αποτέλεσμα της μοντελοποίησης μέσα από την Camera\_5

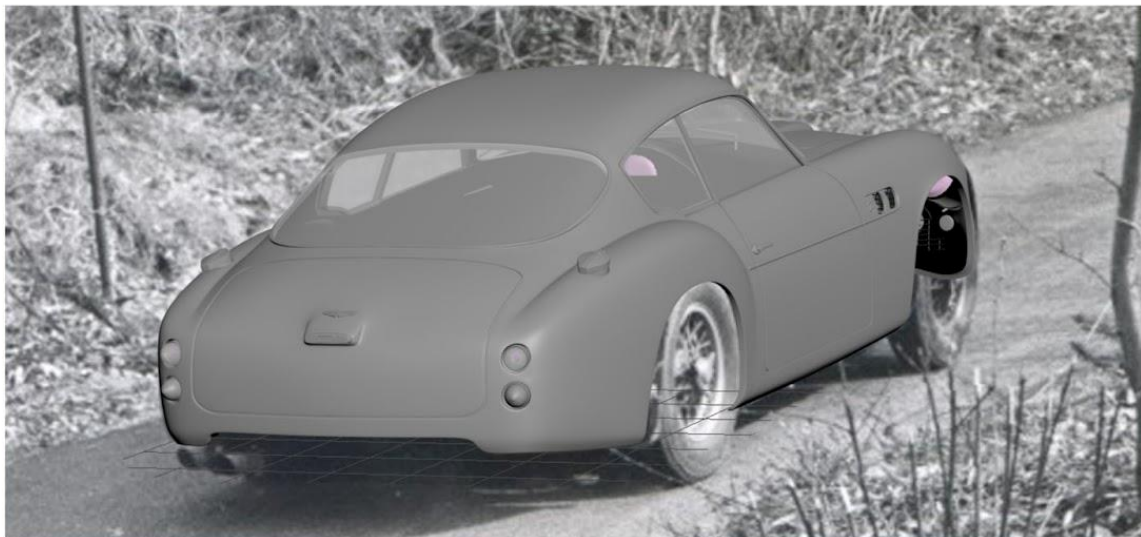


Εικόνα 4.91: Αποτέλεσμα της μοντελοποίησης μέσα από την Camera\_6



Εικόνα 4.92: Αποτέλεσμα της μοντελοποίησης μέσα από την Camera\_10

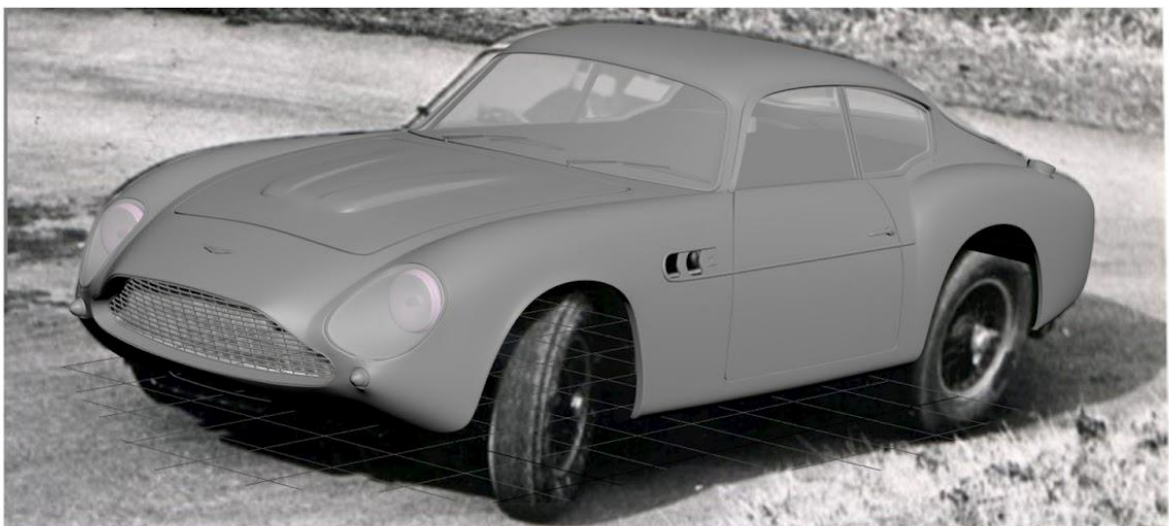




Εικόνα 4.93: Αποτέλεσμα της μοντελοποίησης μέσα από την Camera\_11



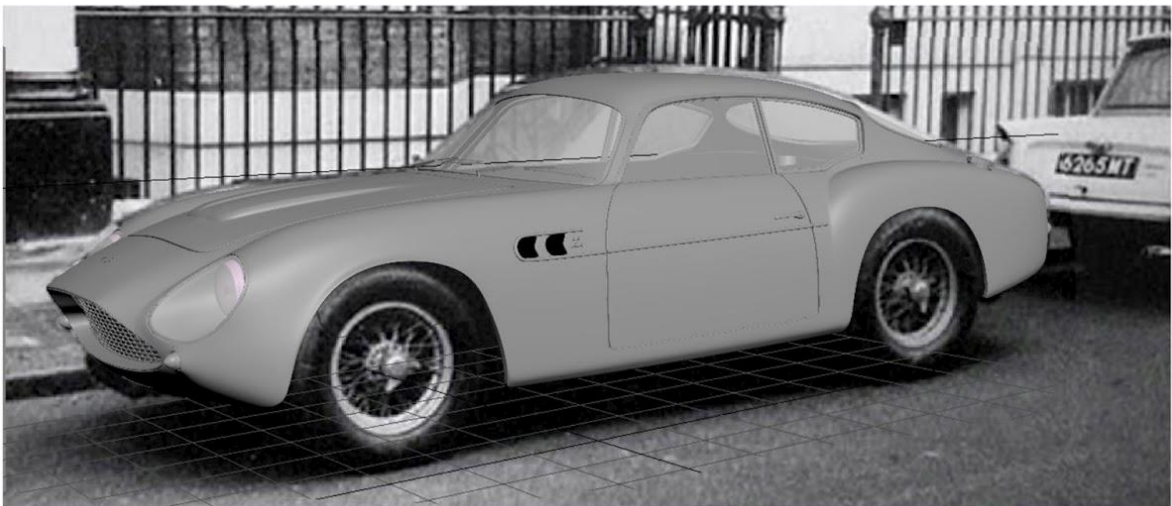
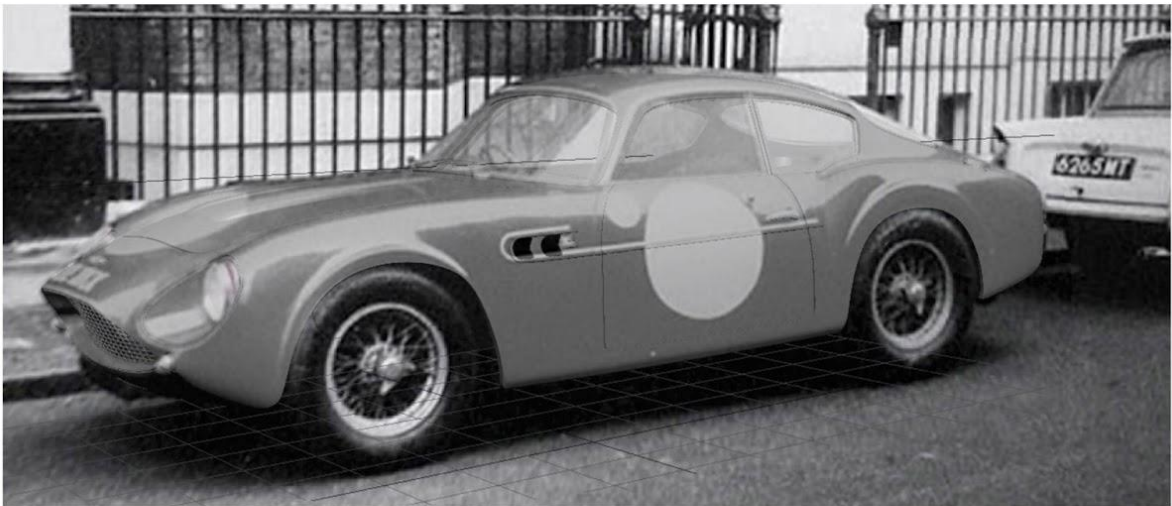
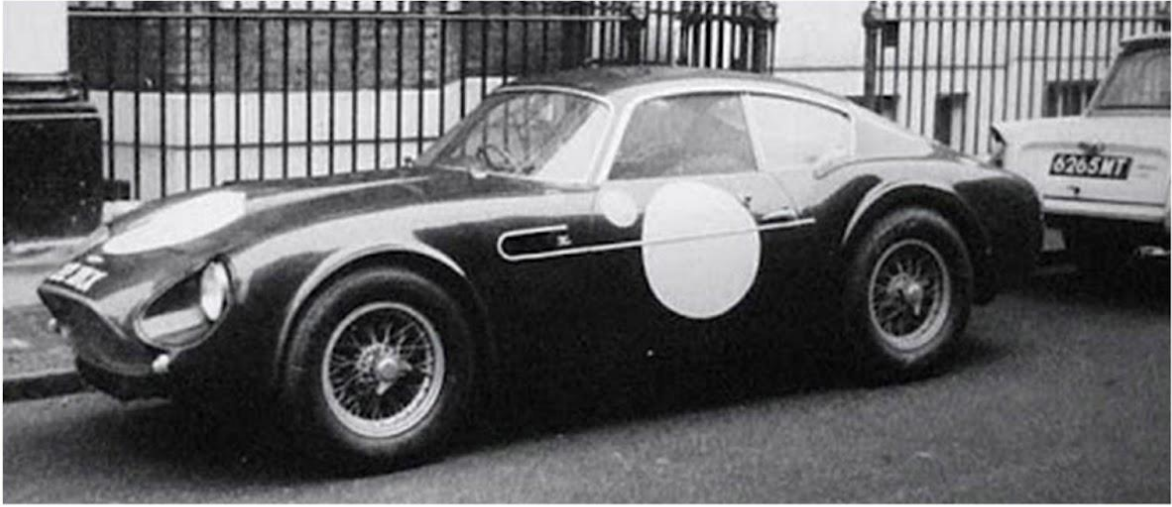
Εικόνα 4.94: Αποτέλεσμα της μοντελοποίησης μέσα από την Camera\_13



Εικόνα 4.95: Αποτέλεσμα της μοντελοποίησης μέσα από την Camera\_14



Εικόνα 4.96: Αποτέλεσμα της μοντελοποίησης μέσα από την Camera\_15



Εικόνα 4.97: Αποτέλεσμα της μοντελοποίησης μέσα από την Camera\_16.

### 4.3.1 Renderings του ψηφιακού μοντέλου

Στο κεφάλαιο αυτό, εμπεριέχεται μια σειρά renderings του ψηφιακού μοντέλου της Aston Martin που δημιουργήθηκε ακολουθώντας τα βήματα των προηγούμενων κεφαλαίων.













#### 4.3.2 Δημιουργία μινιατούρας του αυτοκινήτου κλίμακας 1:24

Το αμάξι του αυτοκινήτου, αφού μετατράπηκε σε εκτυπώσιμο μοντέλο, εκτυπώθηκε τρισδιάστατα με την βοήθεια ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή τεχνολογίας SLA, σε ανάλυση 30μm.





## 5 - Πείραμα πιστότητας

### 5.1 Εύρεση scanned data αυτοκινήτων

Ένας τρόπος επαλήθευσης της πιστότητας των αποτελεσμάτων αυτής της διαδικασίας θα μπορούσε να είναι η πλήρης ή και τμηματική μοντελοποίηση ενός αυτοκινήτου από τυχαίες φωτογραφίες, τραβηγμένες από κάμερες αγνώστων χαρακτηριστικών, με σκοπό την τοποθέτηση και ταύτιση του μοντέλου που θα δημιουργηθεί "πάνω" σε ένα νέφος σημείων το οποίο θα έχει ηροκύψει από το σκανάρισμα του πραγματικού αυτοκινήτου.

Η εταιρεία Artec3D (<https://www.artec3d.com/>) διαθέτει μια μικρή συλλογή μοντέλων, τα οποία έχουν δημιουργηθεί με την χρήση των scanners τους. Μιας και η διηλωματική αυτή αναφέρεται στην δημιουργία αμαξωμάτων αυτοκινήτων, επέλεξα τα εξής μοντέλα : την Mercedes CLK 430 (εικόνα 5.1) καθώς και ένα Smart Fortwo (εικόνα 5.2).



Εικόνα 5.1: Το μοντέλο της CLK 430. αποτελούμενο από ένα νέφος σημείων που δημιουργήθηκε μέσα από το σκανάρισμα του πραγματικού αυτοκινήτου.



Εικόνα 5.1: Το μοντέλο του Smart Fortwo. αποτελούμενο από ένα νέφος σημείων που δημιουργήθηκε μέσα από το σκανάρισμα του πραγματικού αυτοκινήτου.

## 5.2 Μοντελοποίηση της Mercedes Benz CLK 430

Ξεκινώντας το πείραμα αυτό πρώτα με την CLK 430, βαθμονόμησα μια σειρά καμερών, οι οποίες φαίνονται και στην εικόνα 5.3, στο περιβάλλον του Image Modeler. Επέλεξα έναν μικρό αριθμό εικόνων, στις οποίες ήταν εύκολο διακριτό το εμπρός μέρος του αυτοκινήτου, καθώς θα εστιάσω στην δημιουργία του καπό και των εμπρόσθιων φτερών.



Εικόνα 5.3: Βαθμονόμηση σκηνής με βάση την Mercedes Benz CLK, χρησιμοποιώντας μερικές τυχαίες φωτογραφίες.

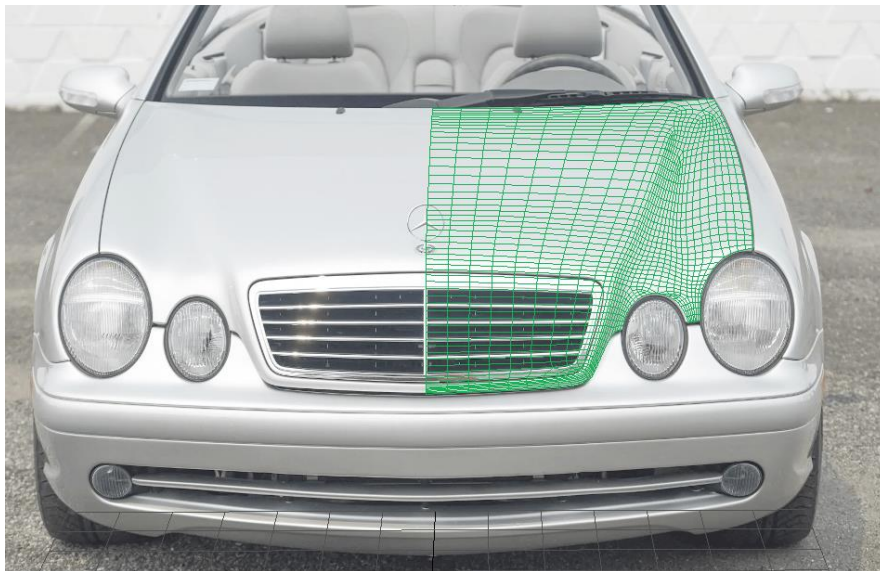
Έπειτα, προχώρησα στην μοντελοποίηση των τμημάτων αυτών. Στις εικόνες 5.4, 5.5 και 5.6 βλέπουμε το μοντέλο του καπό, ενώ στις εικόνες 5.7 και 5.8 βλέπουμε το μοντέλο του φτερού, τοποθετημένο ακριβώς πάνω στο φτερό που διακρίνεται στις φωτογραφίες του πραγματικού αυτοκινήτου. Στις εικόνες 5.9, 5.10, 5.11 και 5.12 βλέπουμε το φτερό και το καπό μαζί. Αφού τελείωσε η μοντελοποίησή τους, προχωρώ στο επόμενο στάδιο που είναι η επαλήθευση του μοντέλου που δημιουργήσα σε σχέση με το πραγματικό αυτοκίνητο.



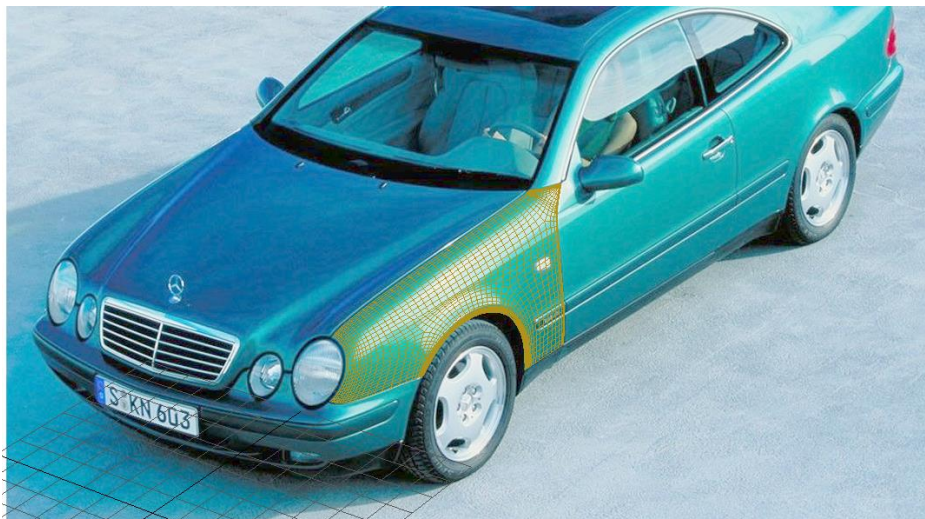
Εικόνα 5.4: Μοντελοποίηση του καπό με βάση τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης της εικόνας 5.3.



Εικόνα 5.5: Μοντελοποίηση του καπό με βάση τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης της εικόνας 5.3.



Εικόνα 5.6: Μοντελοποίηση του καπό με βάση τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης της εικόνας 5.3.



Εικόνα 5.7: Μοντελοποίηση του αριστερού φτερού με βάση τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης της εικόνας 5.3.

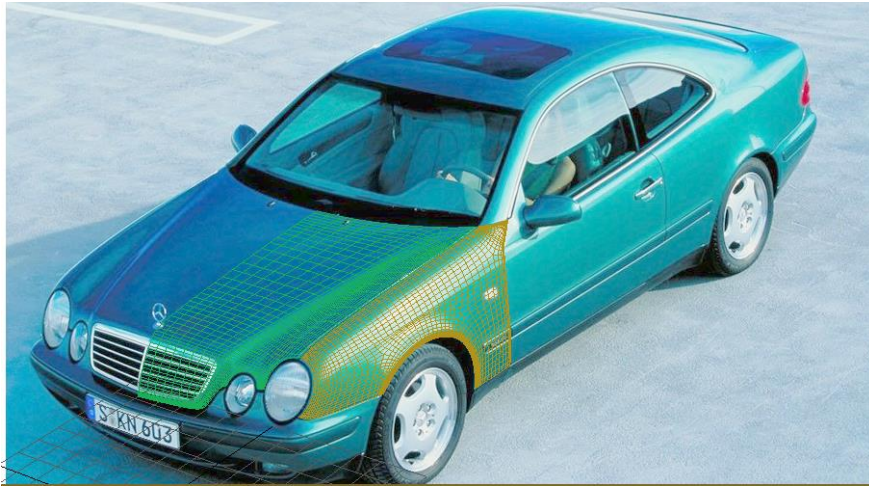


Εικόνα 5.8: Μοντελοποίηση του αριστερού φτερού με βάση τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης της εικόνας 5.3.

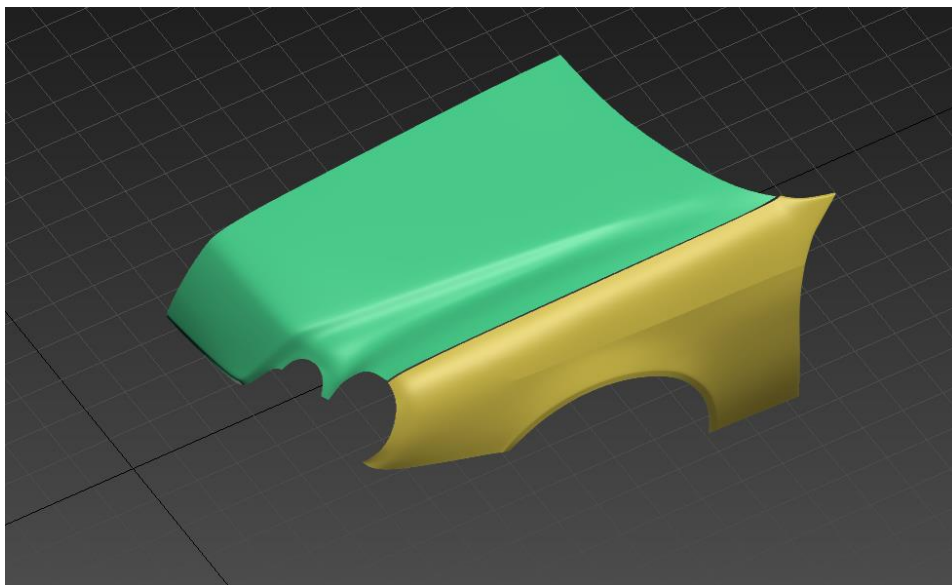


Εικόνα 5.9: Τοποθέτηση των μοντέλων του καπό και του φτερού με βάση τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης της εικόνας 5.3.

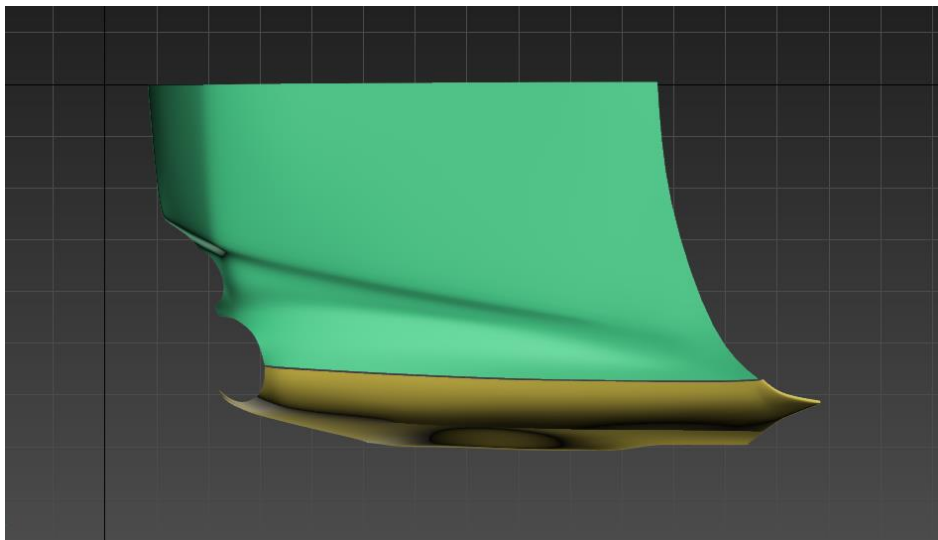




Εικόνα 5.10: Τοποθέτηση των μοντέλων του καπό και του φτερού με βάση τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης της εικόνας 5.3.



Εικόνα 5.11: Το μοντέλα του καπό και του φτερού του αυτοκινήτου.

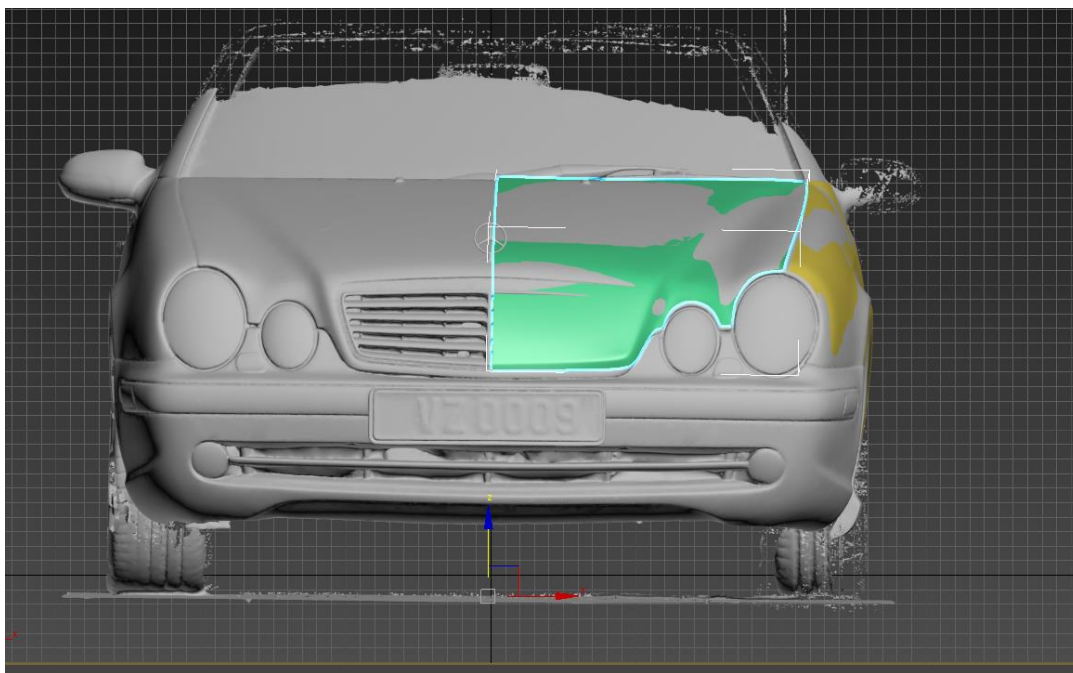


Εικόνα 5.12: Το μοντέλα του καπό και του φτερού του αυτοκινήτου.

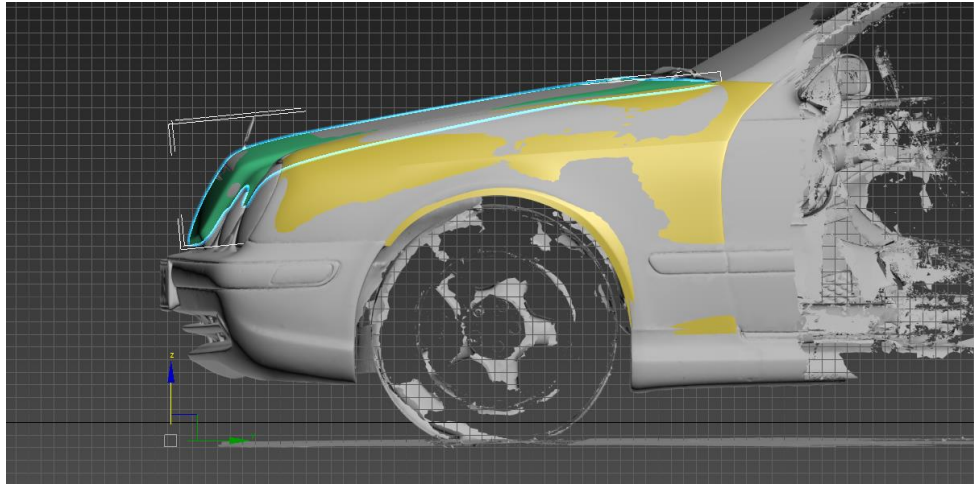
### 5.3 Τοποθέτηση του μοντέλου που δημιουργήθηκε μέσα από χρήση φωτογραφιών πάνω στο μοντέλο του πραγματικού αυτοκινήτου

Αφού αφάιρεσα τα μέρη του νέφους σημείων τα οποία δεν μου ήταν χρήσιμα, ηροχώρησα στην τοποθέτηση και ηροσπάθεια ταύτισης των μοντέλων μου με αυτό. Στην εικόνα 5.13 βλέπουμε την ηρόσοψη του αυτοκινήτου, καθώς έχω τοποθετήσει επάνω του τα μοντέλα που δημιούργησα. Υπάρχουν ποηηλά "σημεία" τα οποία απέχουν από το σχήμα του αυτοκινήτου. Για παράδειγμα, στο μέρος του καπό, υπάρχουν ποηηλά και μεγάλα μέρη επιφάνειας τα οποία είτε καηύητονται από το νέφος σημείων του ηραγματικού αυτοκινήτου, είτε από το μοντέλο που δημιούργησα. Αυτά τα στοιχεία, εάν ηιάβουμε υπόψη το πως θα έηρηπε να μοιάζει ένα ακριβές μοντέλο τοποθετημένο πάνω σε ένα νέφος σημείων (εικόνα 5.16), μας υποδεικνύουν πως έχουμε σημαντικές αποκηίσεις από το ηραγματικό αυτοκίνητο καθώς όηως βλέπουμε στην εικόνα 5.16, τα ηκρι σημεία του νέφους σημείων και τα ηαηιάζια της επιφάνειας που δημιούργησα με βάση το νέφος σημείων, είναι ποηηύ μικρότερα καθώς η επιφάνεια ηπορεί να απέχει τοποηηύ 1-2mm από το νέφος σημείων.

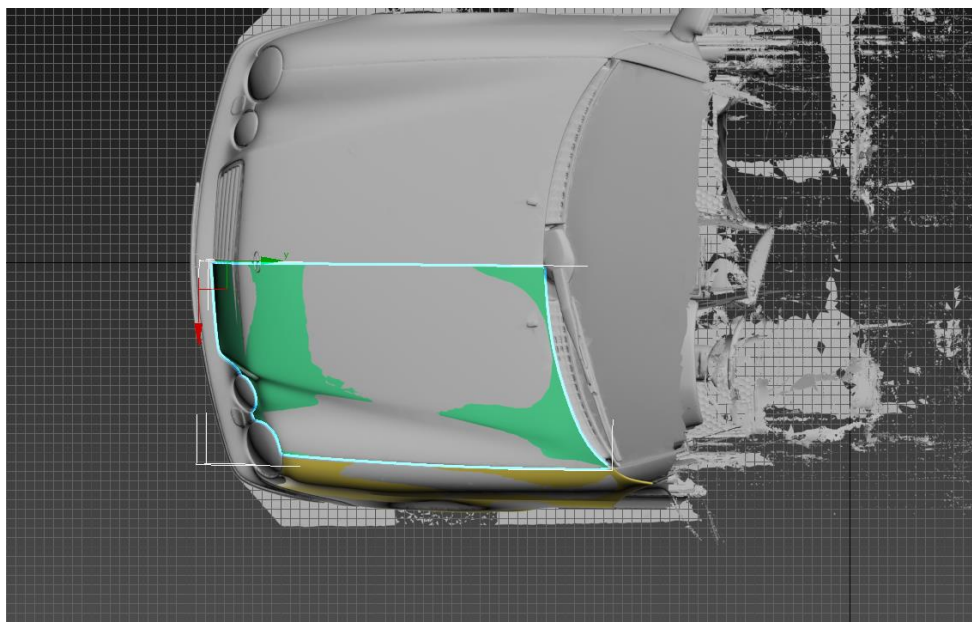
Στην αρισητερή όψη του αυτοκινήτου είναι ακόμη ηιο ξεκάθαρο, καθώς εσηιάζοντας το σχήμα του ητερού το οποίο "ηωηηιάζει" τους τροχούς (εικόνα 5.14), βλέπουμε την κίτρινη επιφάνεια να ηρίσκεται ηιο "κάτω" από το ηκρι νέφος σημείων. Ωστόσο, κοιτώντας την εικόνα 5.14, τα όρια των επιφανειών του καπό και του ητερού (δηηιαδή, των αρμών που ηρίσκονται ηεταξύ των panels) φαίνεται να ηρίσκονται ποηηύ κοντά στα όρια του ηραγματικού αυτοκινήτου.



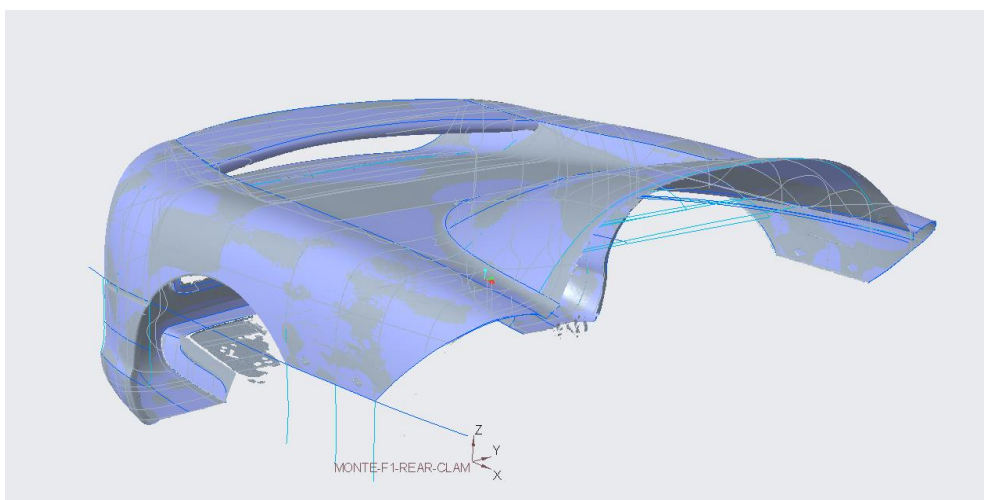
Εικόνα 5.13: Πρόσοψη των μοντέλων του καπό και του ητερού τοποθετημένα πάνω στο νέφος σημείων του ηραγματικού αυτοκινήτου.



Εικόνα 5.14: Πλάγια όψη των μοντέλων του καπό και του φτερού τοποθετημένα πάνω στο νέφος σημείων του πραγματικού αυτοκινήτου.



Εικόνα 5.15: Κάτοψη των μοντέλων του καπό και του φτερού τοποθετημένα πάνω στο νέφος σημείων του πραγματικού αυτοκινήτου.



Εικόνα 5.16: Επιφάνεια που δημιουργήθηκε με βάση ενός σκαναρισμένου αρχείου αυτοκινήτου, με αποκλίσεις της τάξης του 1-2mm.

## 5.4 Μοντελοποίηση του Smart Fortwo

Μετά από το πείραμα με το μοντέλο της Mercedes CLK, αποφάσισα, μέσα από όσα έμαθα από το πείραμα αυτό, να το εναλλαχτώ με το μοντέλο του Smart Fortwo κάνοντας ορισμένες αλλαγές όσον αφορά την μέθοδο βαθμονόμησης. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποίησα την βαθμονόμηση χρησιμοποιώντας περισσότερες φωτογραφίες, και μάλιστα φωτογραφίες στις οποίες το αυτοκίνητο αποτυπώνεται από όλες τις πλευρές του, καθώς θα με βοηθήσει στο να το αποτυπώσω σωστά κατά το στάδιο της μοντελοποίησης. Το αποτέλεσμα της βαθμονόμησης καθώς και οι φωτογραφίες που επιλέχθηκαν είναι εμφανείς στις εικόνες 5.17 και 5.18. Έπειτα, Προχώρησα στην μοντελοποίηση του καπό αθλά και του μηροστινού φτερού, όπου σύμφωνα με τις εικόνες 5.19, 5.20, 5.21 και 5.22.



Εικόνα 5.17: Το αποτέλεσμα της βαθμονόμησης μέσα στο περιβάλλον του Image Modeler.



Εικόνα 5.18: Το αποτέλεσμα της βαθμονόμησης μέσα στο περιβάλλον του Image Modeler.



Εικόνα 5.19: Το αποτέλεσμα της μοντελοποίησης των φτερών και του καπό με βάση την βαθμονομημένη σκηνή των εικόνων 5.17 και 5.18.



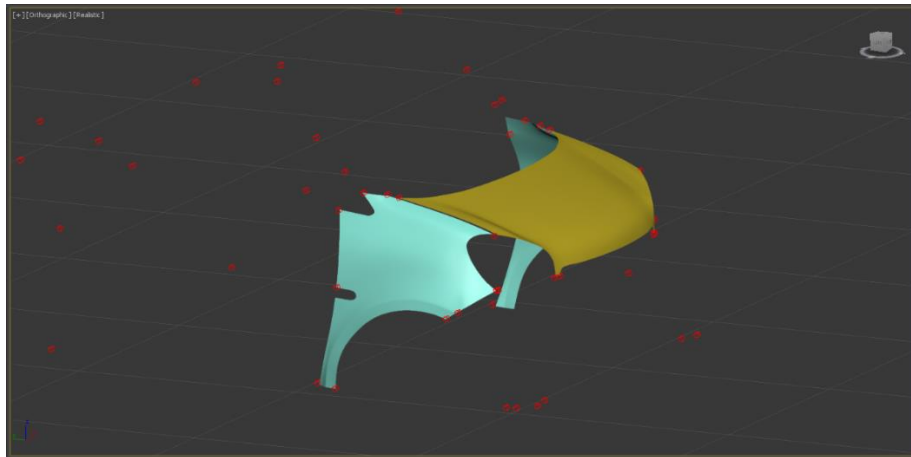
Εικόνα 5.20: Το αποτέλεσμα της μοντελοποίησης των φτερών και του καπό με βάση την βαθμονομημένη σκηνή των εικόνων 5.17 και 5.18.



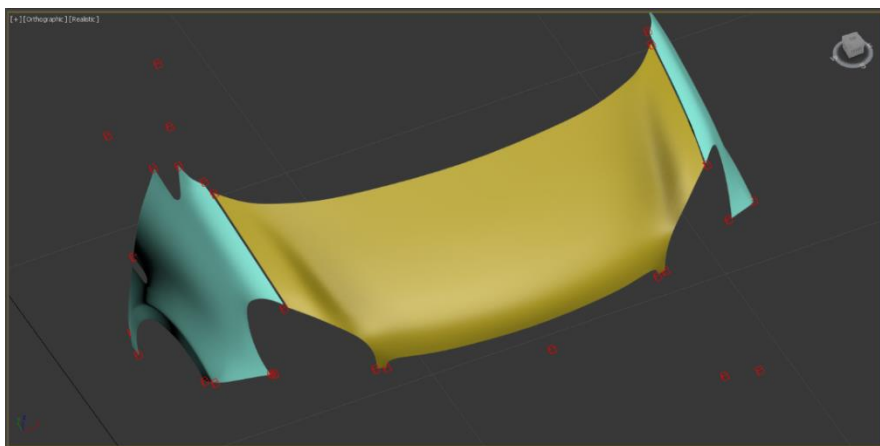
Εικόνα 5.21: Το αποτέλεσμα της μοντελοποίησης των φτερών και του καπό με βάση την βαθμονομημένη σκηνή των εικόνων 5.17 και 5.18.



Εικόνα 5.22: Το αποτέλεσμα της μοντελοποίησης των φτερών και του καπό με βάση την βαθμονομημένη σκηνή των εικόνων 5.17 και 5.18.



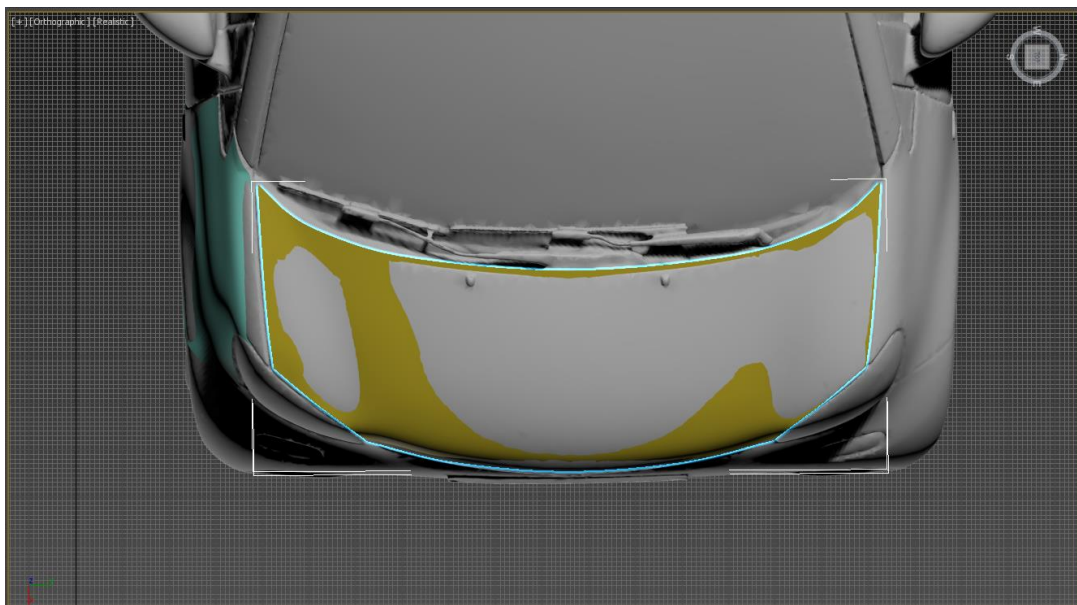
Εικόνα 5.23: Το αποτέλεσμα της μοντελοποίησης των φτερών και του καπό με βάση την βαθμονομημένη σκηνή των εικόνων 5.17 και 5.18.



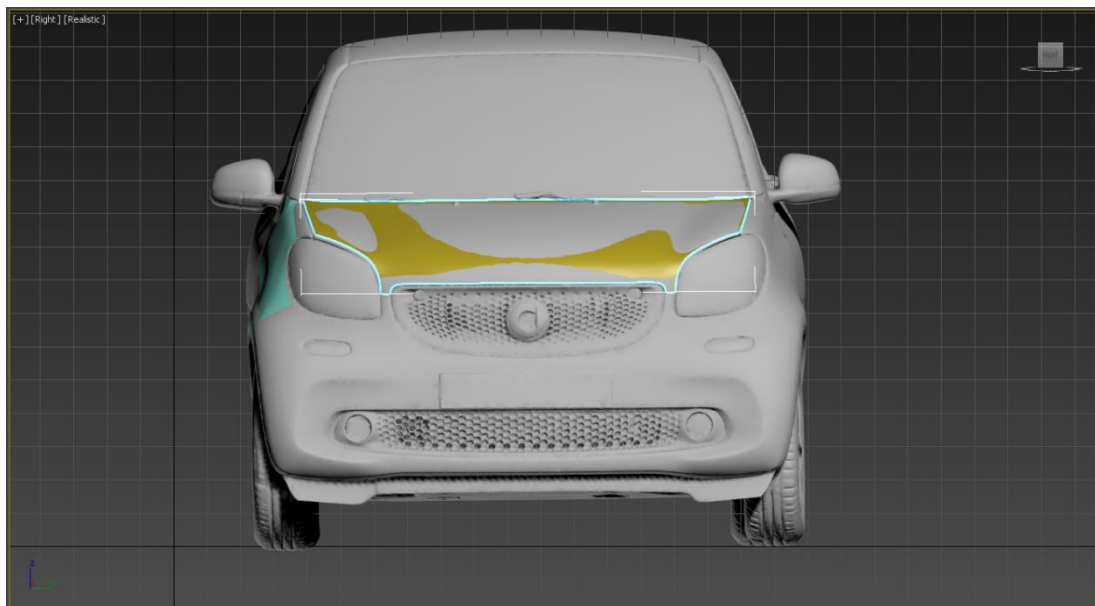
Εικόνα 5.24: Το αποτέλεσμα της μοντελοποίησης των φτερών και του καπό με βάση την βαθμονομημένη σκηνή των εικόνων 5.17 και 5.18.

## 5.5 Τοποθέτηση του μοντέλου που δημιουργήθηκε μέσα από χρήση φωτογραφιών πάνω στο μοντέλο του πραγματικού αυτοκινήτου

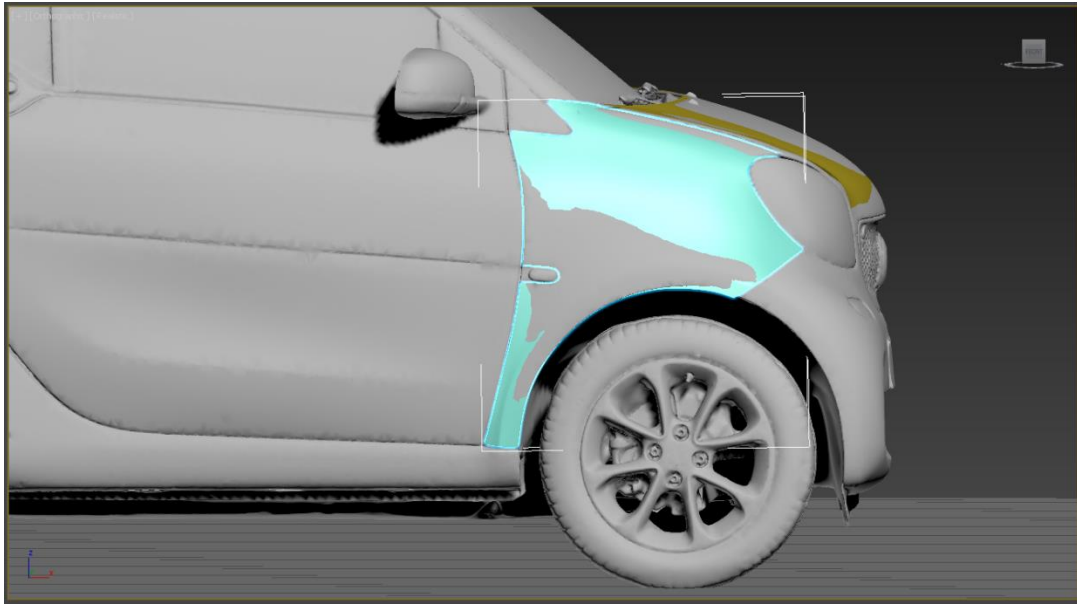
Μετά το τέλος της μοντελοποίησης, επαναλαμβάνω την διαδικασία που ακολούθησα στο βήμα 5.3. Στην εικόνα 5.25, βλέποντας την σύγκριση από την οπτική της κάτοψης, τα όρια του καπό και του φτερού φαίνεται πως ταιριάζουν σχεδόν ακριβώς με τα όρια των αντίστοιχων πάνελ του αυτοκινήτου. Το ίδιο είναι εμφανές και στις εικόνες 5.26 και 5.27. Βέβαια, στην εικόνα 5.27 υπάρχει μια απόκλιση ως προς τους θόλους των τροχών, αλλήλι είναι σημαντικά μικρότερη σε σχέση με τα αποτελέσματα του προηγούμενου πειράματος.



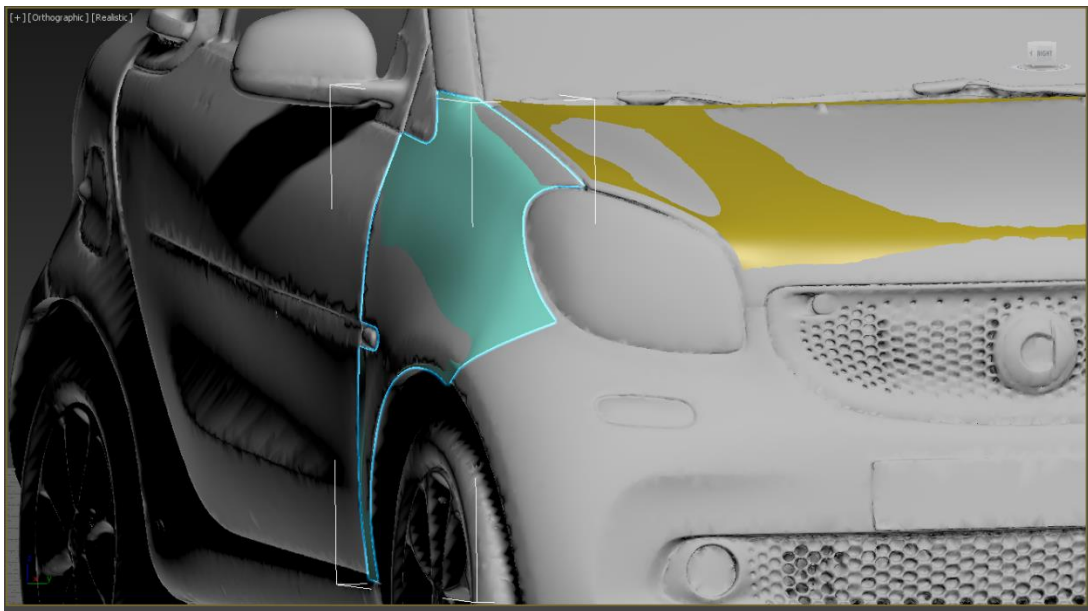
Εικόνα 5.25: Κάτοψη των μοντέλων του καπό και του φτερού τοποθετημένα πάνω στο νέφος σημείων του πραγματικού αυτοκινήτου.



Εικόνα 5.26: Πρόσοψη των μοντέλων του καπό και του φτερού τοποθετημένα πάνω στο νέφος σημείων του πραγματικού αυτοκινήτου.

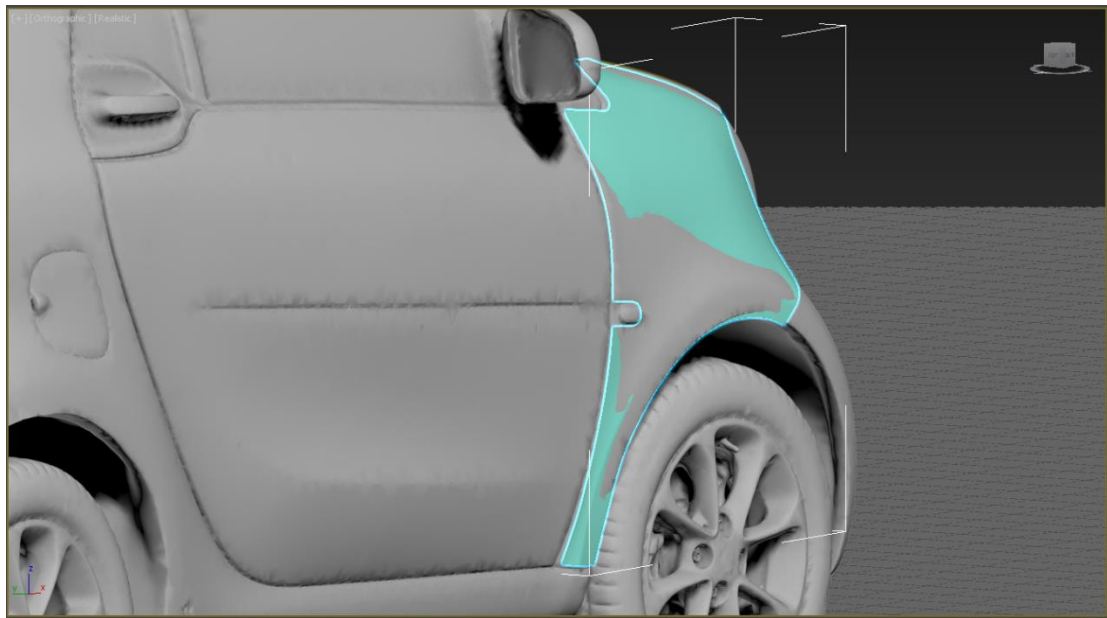


Εικόνα 5.27: Πλάγια όψη των μοντέλων του καπό και του φτερού τοποθετημένα πάνω στο νέφος σημείων του πραγματικού αυτοκινήτου.



Εικόνα 5.28: Οπτική σε orthographic view των μοντέλων του καπό και του φτερού τοποθετημένα πάνω στο νέφος σημείων του πραγματικού αυτοκινήτου.





Εικόνα 5.29: Οπτική σε orthographic view των μοντέλων του καπό και του φτερού τοποθετημένα πάνω στο νέφος σημείων του πραγματικού αυτοκινήτου.

## 5.6 Εκτίμηση των αποτελεσμάτων

Το κεφάλαιο αυτό αποτέλεσε μια διαδικασία benchmarking η οποία είχε ως σκοπό το να μας δείξει ποιος είναι ο βαθμός πιστότητας του αποτελέσματος της μοντελοποίησης μέσω του ροιζισμικού Image Modeler ως προς τα αληθινά αντικείμενα. Παρόλο που υπάρχουν αποκλίσεις σε σχέση με τα πραγματικά αντικείμενα στα αποτελέσματα και των 2 πειραμάτων, καθώς δεν δείχνουν να εφάρτονται τόσο καλά όσο θα εφάρττανταν εάν δημιουργούσα αυτές τις επιφάνειες αυτές με βάση ένα νέφος σημείων (εικόνα 5.16), το αποτέλεσμα αυτό ηρέκυψε καθαρά μέσα από μερικές φωτογραφίες, χωρίς κανένα διαδιάστατο σχέδιο. Φυσικά, για αυτά τα αποτελέσματα, αποτελεί πάντα ηρουπόθεση το να ταιριάζουν τα μοντέλα που δημιουργήσαμε σε όλες τις εικόνες που έχουμε εισάγει στο ροιζισμικό Image Modeler. Αξίζει να αναφερθεί, πως ιδανικά η διαδικασία αυτή θα έπρεπε να εφαρμοστεί σε ένα ροιζισμικό σύγκρισης 2 επιφανειών ως προς την ομοιότητα τους, κάτι που δεν είναι εφικτό σε αυτή την περίπτωση. Αυτό συμβαίνει γιατί τα ροιζισμικά που θα μπορούσαν να πραγματοποιήσουν μια τέτοιου είδους μέτρηση, όπως το Geomagis, μπορούν να πραγματοποιήσουν αυτή την διαδικασία μόνο εάν η επιφάνεια που ηρούκειται να συγκριθεί με το νέφος σημείων έχει σχεδιαστεί στο ροιζισμικό αυτό. Δυστυχώς, η επιφάνεια αυτή ηρούκουσε να δημιουργηθεί μόνο στο 3D Studio Max, πράγμα που σημαίνει πως δεν ήταν συμβατή για την διαδικασία αυτή.

## 6 - Συμπεράσματα

Μέσω της διηλωματικής αυτής, αποδείχτηκε πως ακόμα κι αν δεν υπάρχει ικανοποιητικός αριθμός αηλά και ποιότητα εικόνων για την δημιουργία ενός μοντέλου μέσω της συμβατικής μεθόδου της φωτογραμμετρίας, υπάρχει τρόπος για να δημιουργηθεί ένα μοντέλο το οποίο ηρούκει να φτάσει αρκετά κοντά στο ηραγματικό αντικείμενο από άποψη πιστότητας. Μάλιστα, το ζήτημα της πιστότητας επαηληθεύτηκε μέσα από μια σειρά πειραμάτων, μέσα από τα οποία είναι διακριτή η ομοιότητα των μοντέλων που δημιουργήθηκαν μέσα από φωτογραφίες με μοντέλα ηλήρως βασισμένα σε ηραγματικά αυτοκίνητα. Βέβαια, απαιτείται σημαντικά μεγαλύτερη ηρουσπάθεια για να δημιουργηθεί ένα αξιόηλογο αποτέλεσμα σε σύγκριση με την φωτογραμμετρία, καθώς κάθε κομμάτι της διαδικασίας ηραγματοποιείται ηεροκίνητα. Παράλληλα, το αποτέλεσμα εξαρτάται και από την ημειρία του κάθε ηρήστη, τόσο στην βαθμονόμηση, όσο και στην μοντελοποίηση. Όσον αφορά τα ηροβλήματα που ηρούκυψαν, στην συγκεκριμένη η περίπτωση της Aston Martin DB4 Zagato με αριθμό σασί 0200/R, παρόλο που η δημιουργήθηκε ένα μοντέλο το οποίο ταυτίζεται στις ηερισσότερες φωτογραφίες που ηρησιμοποιήθηκαν

για την βαθμονόμηση, σε μερικές από αυτές υπάρχει μια μικρή απόκλιση ως προς την ταύτιση του μοντέλου με την εκάστοτε φωτογραφία, ειδικά στο κομμάτι των A-pillars. Επίσης, η χαμηλή ανάλυση ορισμένων εικόνων δεν επέτρεψε την πραγματοποίηση μιας βέλτιστης βαθμονόμησης, καθώς τα διάφορα σημεία του αυτοκινήτου που αποτελούσαν μέρη για τοποθέτηση σημείων αναφοράς (locators) δεν ήταν καθόλου διακριτά. Παρόλα αυτά, η διαδικασία παραμένει "μονόδρομος" για έργα σαν κι αυτό, όπου τα δεδομένα είναι πολύ λίγα και μάλιστα κακής ποιότητας. Πιθανότατα, η μέθοδος αυτή θα μπορούσε να εφαρμοστεί και στην ανακατασκευή κατεστραμμένων-παλαιών κτιρίων, εφόσον υπάρχει φωτογραφικό υλικό.

## 6.1 Πηγές

- [1] M. Sokovic, M. Cedilnik, και J. Kopac, 'Use of 3D-scanning and reverse engineering by manufacturing of complex shapes', σ. 4.
- [2] K. Atsushi, H. Sueyasu, Y. Funayama, και T. Maekawa, 'System for reconstruction of three-dimensional micro objects from multiple photographic images', *Comput.-Aided Des.*, τ. 43, τχ. 8, σσ. 1045–1055, Δεκεμβρίου 2011, doi: 10.1016/j.cad.2011.01.019.
- [3] J. Ni, V. D. Majstorovic, και D. Djurdjanovic, Επιμ., *Proceedings of 3rd International Conference on the Industry 4.0 Model for Advanced Manufacturing*. Cham: Springer International Publishing, 2018. doi: 10.1007/978-3-319-89563-5.
- [4] K. (German) Cheung, S. Baker, και T. Kanade, 'Shape-From-Silhouette Across Time Part I: Theory and Algorithms', *Int. J. Comput. Vis.*, τ. 62, τχ. 3, σσ. 221–247, Μαΐου 2005, doi: 10.1007/s11263-005-4881-5.
- [5] A. Gallo, M. Muzzupappa, και F. Bruno, '3D reconstruction of small sized objects from a sequence of multi-focused images', *J. Cult. Herit.*, τ. 15, τχ. 2, σσ. 173–182, Μαρτίου 2014, doi: 10.1016/j.culher.2013.04.009.
- [6] V. Uffenkamp, 'State of the Art of High Precision Industrial Photogrammetry', σ. 14.
- [7] D. Nedelcu, S. L. Bogdan, και I. Pădurean, 'The reverse engineering of a blade runner geometry through photogrammetry', *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, τ. 393, σ. 012126, Αυγούστου 2018, doi: 10.1088/1757-899X/393/1/012126.
- [8] K. Kwiatek, '360° Film Brings Bombed Church to Life'.
- [9] S. Baričević και I. Žižić, '3D modeliranje i generiranje oblaka točaka pomoću', σ. 6, 2011.
- [10] W. T. Neale, D. Hessel, και T. Terpstra, 'Photogrammetric Measurement Error Associated with Lens Distortion', Απριλίου 2011, σσ. 2011-01–0286. doi: 10.4271/2011-01-0286.