

Il Laser Scanning applicato al Design del Prodotto

*Progettazione di strutture di supporto per un sistema mobile
di acquisizione tridimensionale montato su fuoristrada*

———— Vincenzo Germinario ————

739316

Relatore _ Gabriele Guidi
Correlatori _ Mario Bisson, Giorgia Morlando

in collaborazione con il Laboratorio di “Close Range Photogrammetry and Remote Sensing” -
Facoltà di Ingegneria Mineraria (E.T.S.I. Minas) - Universidad de Vigo, Spagna

INDICE

<i>ABSTRACT</i>	pag. V
<i>INTRODUZIONE</i>	pag. VII
<i>CAPITOLO 1 - Dall'esperienza al brief di progetto</i>	pag. 1
<i>1.1. I Mobile Mappers</i>	pag. 4
<i>1.2. "Close Range Photogrammetry and Remote Sensing Group"</i>	pag. 4
<i>1.3. Lynx Mobile Mapper</i>	pag. 6
<i>1.4. Il brief di progetto</i>	pag. 10
<i>CAPITOLO 2 - I laser scanner terrestri</i>	pag. 15
<i>2.1. Laser: definizione e caratteristiche</i>	pag. 20
<i>2.2. I laser scanner a triangolazione</i>	pag. 23
<i>2.3. I laser scanner distanziometrici</i>	pag. 26
<i>2.4. Gli aspetti da considerare</i>	pag. 28
<i>2.4.1. Accuratezza e precisione</i>	pag. 30
<i>2.4.2. Risoluzione</i>	pag. 32
<i>2.4.3. Velocità di acquisizione</i>	pag. 33
<i>2.4.4. Campo visivo</i>	pag. 34
<i>2.4.5. Caratteristiche dell'oggetto</i>	pag. 34
<i>2.4.6. Softwares</i>	pag. 36

<i>2.5. Riegl LSM Z390i</i>	pag. 38
<i>CAPITOLO 3 - L'acquisizione tridimensionale come strumento di progettazione del sistema mobile</i>	pag. 41
<i>3.1. Il progetto di presa</i>	pag. 46
<i>3.2. L'acquisizione del dato</i>	pag. 51
<i>3.3. L'allineamento e la registrazione</i>	pag. 54
<i>3.4. La pulitura ed il filtraggio</i>	pag. 58
<i>3.5. La triangolazione</i>	pag. 60
<i>3.6. L'editing</i>	pag. 63
<i>3.7. L'ottimizzazione del modello</i>	pag. 67
<i>3.8. Valutazioni finali</i>	pag. 69
<i>CAPITOLO 4 - Riflessioni progettuali: interazione uomo-auto-laser</i>	pag. 71
<i>4.1. L'interazione tra uomo ed auto</i>	pag. 75
<i>4.2. L'interazione tra laser ed auto</i>	pag. 78
<i>4.3. L'interazione tra uomo, laser ed auto</i>	pag. 81
<i>4.4. Spunti progettuali I: supporto per laser scanner</i>	pag. 84
<i>4.5. Spunti progettuali II: supporto per controller</i>	pag. 86
<i>4.6. Spunti progettuali III: supporto per laptop</i>	pag. 88

<i>CAPITOLO 5 - Sviluppo dei prodotti</i>	pag. 91
<i>5.1. Progetto I: supporto per il laser</i>	pag. 94
<i>5.1.1. Componentistica e materiali</i>	pag. 94
<i>5.1.2. Storyboard di utilizzo</i>	pag. 97
<i>5.2. Progetto II: supporto per il controller</i>	pag. 101
<i>5.2.1. Componentistica e materiali</i>	pag. 101
<i>5.2.2. Storyboard di utilizzo</i>	pag. 105
<i>5.3. Progetto III: supporto per il laptop</i>	pag. 109
<i>5.3.1. Componentistica e materiali</i>	pag. 109
<i>5.3.2. Storyboard di utilizzo</i>	pag. 113
<i>CONCLUSIONI</i>	pag. 119
<i>FONTI DELLE FIGURE</i>	pag. 121
<i>BIBLIOGRAFIA</i>	pag. 123

ABSTRACT

Il Laser Scanner è una tecnologia recentemente sviluppata ed in continua evoluzione. Utilizzato in vari ambiti applicativi, dai beni culturali all'architettura e dall'ingegneria alla medicina, questo strumento rappresenta oggi una valida soluzione per l'acquisizione di prodotti e scenari, al fine di estrarre un modello tridimensionale accurato.

Sempre più impiegate, queste tecniche aprono la strada al concetto di Reverse Modeling. Ricreare un modello 3D da un oggetto già esistente apre nuove possibilità in termini di monitoraggio e verifica dell'esistente e ha le potenzialità per dare un notevole supporto nell'ambito della progettazione, anche dei prodotti industriali. Grazie alla versatilità di utilizzo ed il rapido risultato che è in grado di ottenere, il Laser Scanner si dimostra essere tra i più efficienti metodi di acquisizione esistenti.

Questa tesi vuole per questo andare ad indagare ed approfondire la parte di acquisizione dei dati e la sua applicabilità pratica in termini di progettazione, nell'ottica di un utilizzo sempre maggiore nell'ambito del Design del prodotto industriale.

Progettando i supporti per un Mobile Mapper da installare su di un fuoristrada, è stato quindi possibile testare questo strumento e calarlo all'interno della progettazione dei prodotti specifici.

Parole chiave:

Laser Scanner, Reverse Modeling, acquisizione tridimensionale, Design del prodotto, progettazione, automobile

L'elaborato di tesi ha come fine ultimo quello di progettare delle strutture di supporto per il Lynx Mobile Mapper della Optech. I Mobile Mappers sono delle apparecchiature che, installate su di una vettura standard (specialmente fuoristrada), sono in grado di acquisire in modo tridimensionale oggetti e scenari, attraverso scansioni in movimento. Le caratteristiche tecniche e dimensionali degli elementi costituenti questo apparecchio hanno scaturito riflessioni atte ad un miglioramento della funzionalità dei singoli componenti in relazione alla loro installazione ed utilizzo.

Per far ciò è stato necessario analizzare la vettura sulla quale questo strumento verrà installato: un Nissan Terrano. La progettazione si è dovuta quindi focalizzare sulle caratteristiche fisiche di questa automobile specifica.

Affinché le riflessioni progettuali risultassero fedeli allo scopo, è stato fondamentale rilevare la vettura in questione, in modo da avere le informazioni utili per il concepimento dei prodotti. Vista la complessità della macchina e il livello di dettaglio necessario per la progettazione, ci si è direzionati verso le tecniche del Reverse Engineering.

L'iter progettuale ha quindi aperto la possibilità di indagare il mondo dell'acquisizione tridimensionale e la sua applicabilità e potenzialità in termini di progettazione nell'ambito del Design del prodotto industriale.

Il termine Ingegneria Inversa (R.E.) può essere definito come la progettazione di un prodotto a partire da un oggetto fisico, che attraverso una scansione tridimensionale verrà acquisito come modello digitale.

Questa definizione mostra quindi un capovolgimento dell'iter progettuale: si parte dall'oggetto fisico per poi arrivare al modello tridimensionale, tramite l'acquisizione di dati con l'utilizzo di differenti strumenti e metodologie.

Parlando nello specifico di interazione tra il Design del prodotto e il Reverse Engineering, è necessario sostituire questo ultimo termine con Reverse Modeling, in quanto trattiamo di prodotti nell'ambito dei beni di consumo. Le potenzialità di queste pratiche stanno pian piano emergendo, mostrando una notevole capacità di adattamento in differenti campi applicativi.

Già ampiamente utilizzato nei settori dell'industria, dell'architettura, del legale, della tutela dei beni artistici e della medicina, dà sfoggio di un'incredibile versatilità in termini di applicazioni.

Controllo qualitativo e dimensionale, prototipazione rapida, monitoraggio dei beni culturali e del territorio, ricostruzione tridimensionale e virtua-

lizzazione, sono solo alcune tra le svariate possibilità di queste metodologie.

In relazione allo scopo è possibile utilizzare tecniche di rilievo tridimensionale differenti.

Una prima suddivisione può essere fatta tra metodi passivi, che utilizzando la luce naturale acquisiscono la scena attraverso un sistema ottico che ne estrae informazioni di carattere geometrico, e metodi attivi, che utilizzano luce strutturata per estrapolare informazioni tridimensionali.

Una seconda classificazione può essere invece fatta sul range che questi apparecchi possono coprire: ne deriva quindi piccola, media e lunga distanza. Altre divisioni possono essere fatte in relazione a metodi di tipo diretto-indiretto, a contatto-non a contatto, ecc.

Ognuna di queste tipologie di strumenti ha un proprio ambito di applicazione. Da progetto a progetto non è possibile definire uno standard che vada bene a priori per tutti gli oggetti o scenari (anche se della stessa dimensione o forma).

Infatti la scelta dello strumento deve derivare sicuramente da una riflessione su altri fattori, come l'accuratezza dello strumento oppure la dimensione dell'apparecchio in relazione al contesto in cui verrà effettuata l'acquisizione, dal prezzo, dalle tempistiche di elaborazione dati, ed altri ancora.

E certamente più di una tra queste categorie potrà svolgere il medesimo compito, e probabilmente anche con risultati molto simili.

Rispetto ai diversi strumenti utilizzabili, questo elaborato è focalizzato sulle tecniche di acquisizione attive e più precisamente sui Laser Scanner che si basano sul principio del Tempo di Volo. Il Riegl LSM Z390i appartiene a questa categoria ed è il laser utilizzato per i fini progettuali di questo progetto.

Acquisendo con esso l'automobile Nissan Terrano, è stato possibile rilevare le sue forme e le sue dimensioni – difficilmente rilevabili con le classiche tecniche di misurazione, poiché troppo complesse – ed avere così la base per progettare i supporti utili all'applicazione delle apparecchiature componenti il Lynx Mobile Mapper sul veicolo.

Affinché la progettazione fosse strutturata in modo coerente, sono state utilizzate conoscenze derivanti dall'ergonomia, dall'antropometria e dall'Interaction Design, attraverso cui è stato possibile analizzare in modo sistematico il vasto campo della funzionalità e della relazione uomo-prodotto, calandoli così all'interno dei progetti.

Più nel dettaglio il percorso strutturale di questo elaborato si svilupperà in cinque capitoli tematici.

Nel primo capitolo verranno chiarite le finalità dell'elaborato fornendo informazioni precise sul brief di progetto ed i dettagli riguardanti le apparecchiature per le quali dovranno essere progettati i supporti.

Nel secondo capitolo saranno trattate le tecniche di acquisizione tridimensionale ed in particolare quella del Laser Scanner a Tempo di Volo, con le sue principali caratteristiche ed i fattori da considerare in fase di rilievo ed elaborazione.

Nel terzo capitolo saranno analizzate le fasi principali dell'acquisizione tridimensionale, dal progetto di presa all'ottimizzazione del modello, seguendo l'iter di rilievo della vettura.

Nel quarto capitolo saranno presentati i presupposti con i quali è stata pianificata la progettazione dei supporti specifici, con uno sguardo particolare sul tema dell'interazione tra uomo, laser ed automobile.

Nel quinto capitolo verranno infine forniti i dettagli strutturali e funzionali dei progetti, le tecnologie utilizzate ed i materiali impiegati.

CAPITOLO 1

Dall'esperienza al brief di progetto

Il compito del progettista è quello di tradurre un'esigenza in prodotto.

Ogni processo progettuale risulta essere sostanzialmente differente da prodotto a prodotto. La difficoltà del progettista è quella di saper leggere i vari contesti e trovare una possibile soluzione alla gestione e alla realizzazione di un progetto.

A volte serve trovare e sfruttare possibilità che sono estranee a questo sistema ed applicarle nel mondo del Design per agevolare e migliorare l'iter progettuale.

Collaborando con il "Close Range Photogrammetry and Remote Sensing Group" dell'Università spagnola di Vigo, è stato possibile approcciarsi al progetto con una nuova modalità.

Definite le esigenze riguardanti la gestione di apparecchiature tecniche di un Mobile Mapper all'interno di un'automobile, è stata richiesta un'azione progettuale per relazionarsi con le problematiche derivanti dall'utilizzo di questo sistema.

Al fine di progettare in modo coerente e preciso i supporti richiesti, si è reso indispensabile rilevare l'automobile in questione per avere le precise informazioni indispensabili al conseguimento dell'idea progettuale.

Parole chiave:

Reverse Modeling, brief di progetto, Lynx Mobile Mapper

1.1. I Mobile Mappers

Prima di partire con la definizione degli obiettivi di questo elaborato, è corretto introdurre l'ambito entro cui sono scaturiti i bisogni che hanno portato ad una riflessione progettuale. I supporti che verranno esposti in seguito si riferiscono ad un modello specifico di Mobile Mapper.

Il Mobile Mapper è una tecnica di rilevamento basata sul principio di acquisizione tridimensionale. Posto sul tettuccio di veicoli standard (soprattutto fuoristrada), permette di scansionare in modo dinamico il territorio percorso, ricostruendo virtualmente l'ambiente circostante in tempo reale.

Essendo una scansione georiferita è possibile estrapolare dal modello tridimensionale curve di sezione e di livello, dimensione degli oggetti, ecc.

Questo strumento rappresenta, non solo un passo in avanti nella tecnologia della scansione tridimensionale, ma crea nuove opportunità in termini di versatilità di acquisizione di ambienti, prima possibile solamente attraverso sistemi statici, che presentano però degli svantaggi nella scansione di ampi spazi.

A differenza di questi ultimi, che necessitano di più scansioni per ricostruire uno spazio, il Mobile Mapper crea automaticamente la continuità tra le scansioni, creando un ambiente virtuale orientato, eliminando gran parte del post-processo, indispensabile invece per i normali Laser Scanner a Tempo di Volo (unici a coprire lo stesso range di distanza).

Le applicazioni per questa tipologia di strumento sono le più disparate e comprendono: il rilievo dei centri storici e delle infrastrutture –, poiché i laser appartengono alla Classe I, non sono quindi dannosi per la vista e possono essere utilizzati a contatto con le persone –, la modellazione delle città, il rilievo del catasto delle strade, la preservazione dei beni culturali, di cave, per scopi militari e di ricerca.

1.2. "Close Range Photogrammetry and Remote Sensing Group"

Da Febbraio a Luglio 2011, nell'ambito del progetto Erasmus del Politecnico di Milano, ho collaborato con l'Università di Vigo nel Laboratorio di "Close Range Photogrammetry and Remote Sensing" della Facoltà di Inge-

gneria Mineraria.

Questa esperienza aveva come fine quello di studiare la tematica del Reverse Modeling e le sue applicazioni all'interno di questo ambito di ricerca, per poi trovare una relazione con il mondo del Design del Prodotto e le sostanziali potenzialità che queste nuove tecnologie potrebbero avere per scopi progettuali.

Nato nel 2000 questo laboratorio è composto da ricercatori provenienti da vari ambiti tecnici, che studiano ed applicano, nel loro lavoro, le tecniche di fotogrammetria, laser scanner, georadar e termografia.

Sfruttando le tecnologie a loro disposizione, i ricercatori dell'università spagnola testano queste tipologie di strumenti al fine di migliorarne, non solo l'usabilità tecnica ma anche l'accuratezza ed i limiti processuali, verificare gli strumenti e la validità dei dati acquisiti, sviluppare metodologie per utilizzare dati provenienti da differenti apparecchiature, ricercare modalità per automatizzare la fase di estrazione delle informazioni.

Molte sono le loro pubblicazioni a riguardo, ed altrettanti sono gli esempi di ricerca che svolgono, anche nell'ambito di progetti commissionati esternamente all'Università e che gli hanno dato modo di spaziare e specializzarsi all'interno di applicazioni tra le più varie.

Il loro operato verte soprattutto su tematiche architettoniche e riguardanti il mondo dei beni culturali e la loro salvaguardia. In aggiunta si occupano del monitoraggio dell'erosione delle coste, della stabilità geomorfologica del suolo, dello sviluppo e della modellazione di varie imbarcazioni, delle applicazioni riguardanti indagini forensi e criminologiche, ecc.

Durante la mia permanenza, il Laboratorio ha investito nell'acquisto del Lynx Mobile Mapper della Optech – che verrà esposto più nel dettaglio nel prossimo paragrafo – al fine di ampliare questi ambiti di applicazione. L'utilizzo di questo sistema ha però posto delle problematiche di usabilità nella sua installazione all'interno dell'autovettura. Ed è per questa ragione che si è reso necessario un intervento progettuale che permettesse una migliore interazione tra uomo e sistema laser.

Nei prossimi paragrafi si andranno a definire i bisogni ed il brief di progetto, da essi derivanti.

1.3. Lynx Mobile Mapper

Il Lynx Mobile Mapper della Optech (fig.1.3.1) è, come prima anticipato, un sistema di rilevazione tridimensionale dinamico che, grazie ad attrezzature specifiche montate su un'automobile, fornisce informazioni georiferite rispetto al sistema di riferimento selezionato. La Optech ha sviluppato questa tecnologia a partire dal 2007, ed esso rappresenta oggi un valido prodotto nel campo degli strumenti Mobile Mappers.

In termini di prestazioni il Lynx Mobile Mapper può raggiungere una velocità operativa di 100 Km/h e può coprire un'ampiezza di 360° (fig.1.3.2). Per quanto riguarda il numero di punti acquisibile è proporzionale alla velocità con cui procede il mezzo: per velocità tra i 10 e i 40 Km/h è possibile rilevare tra i 1.000 ai 4.500 punti a metro quadro.

Il funzionamento di questo strumento è possibile attraverso l'integrazione di differenti apparecchiature che, disposte all'interno della vettura, permettono le operazioni di acquisizione tridimensionale.

La componentistica comprende principalmente tre elementi: un personal computer, il controller e i laser.

Il personal computer è lo strumento attraverso cui l'operatore si interfaccia con il sistema, imposta i parametri di scansione e monitora l'acquisizione dei dati in tempo reale durante la scansione.

Il controller (fig.1.3.3), connesso ad un alimentatore portatile, ha la funzione di elaborare le informazioni provenienti dal laser e dalla postazione portatile: ha quindi funzione di ricevere, inviare e codificare i dati.

Per quanto riguarda il sistema dei laser (fig.1.3.4), posto sul tettuccio del veicolo e montato su una piattaforma preformata di 18,6 Kg, è necessario suddividerlo in più componenti, poiché svolgono insieme un'azione sincrona.

In primo luogo sono presenti due sensori LiDar (Light Detection and Ranging) che, come nel principio del Tempo di Volo, scansionano l'ambiente circostante, emettendo raggi laser con una frequenza di 200.000 impulsi al secondo e rotando ad una velocità di 9.000 rotazioni al minuto. Hanno un peso di circa 35 Kg.

Accanto ai precedenti troviamo rispettivamente due camere che producono immagini georiferite ed hanno un peso ciascuna di 3 Kg.

(Fig.1.3.4.1)



Fig.1.3.1 _ Lynx Mobile Mapper su strada

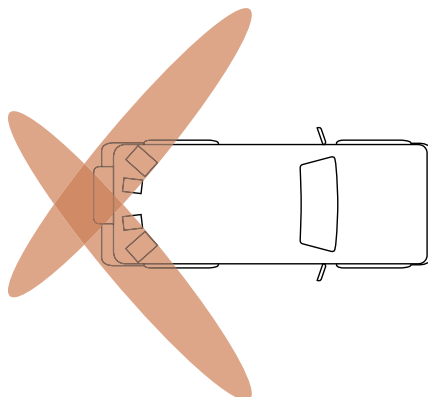


Fig.1.3.2 _ Lynx Mobile Mapper su strada: schematizzazione della scansione



Fig.1.3.3 _ Lynx Mobile Mapper su strada



Fig.1.3.4 _ Piattaforma con radar, camere e GPS sul tettuccio



Fig.1.3.4.1 _ Sensore LiDar (sulla sinistra) e camera (sulla destra)



Fig.1.3.4.2 _ Navigatore satellitare GPS



Fig.1.3.4.3 _ Sistema inerziale DMI, posizionato sulla ruota



Fig.1.3.4.4 _ IMU posizionato tra i laser e le camere, sulla piattaforma di montaggio

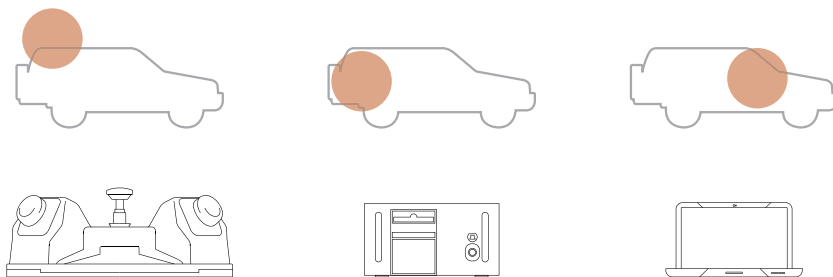


Fig.1.4.1 _ Aree di interesse per la progettazione dei supporti

Poi troviamo tre ulteriori elementi che, integrati agli strumenti precedenti, vanno a fornire differenti tipologie di dati utili alla georeferenziazione dei punti.

Sono presenti due navigatori satellitari GPS – Global Positioning System – che calcolano la traiettoria della vettura (Fig.1.3.4.2). Essi vengono affiancati, in caso di mancanza di copertura di rete, dal DMI – Distant Measurement Indicator – un sistema inerziale posto sulla ruota (Fig.1.3.4.3), che determina la distanza percorsa contribuendo a supplire ad eventuali errori dovuti ad altri sistemi di posizionamento.

Ultimo c'è l'IMU – Inertial Measurement Unit – che, posto sulla piattaforma in mezzo ai laser, fornisce i dati di assetto necessari all'integrazione delle equazioni di moto (Fig.1.3.4.4).

Ai fini progettuali – che saranno definiti nel successivo paragrafo – è fondamentale definire gli ingombri dei due principali elementi costitutivi il sistema, quali la piattaforma con i sensori LiDar e le camere (Tav.1) e il controller (Tav.2).

In più è utile tener presente il peso di questi componenti: la piattaforma con gli elementi montati pesa 70 Kg circa; il controller e l'alimentatore connesso pesano intorno ai 35 Kg.

In relazione a quanto detto, nel prossimo paragrafo verranno analizzati le componenti sopra esposte dal punto di vista dell'interazione con l'utente, traendone così le problematiche riscontrate, e le relative esigenze, al fine di impostare una progettazione in termini di efficienze ed usabilità del sistema.

1.4. Il brief di progetto

Le apparecchiature, come quella sopra esposta, sono sì un chiaro esempio di tecnologia avanzata, ma dal punto di vista strutturale presentano notevoli lacune progettuali.

L'interfacciamento con l'utente è uno dei requisiti principali che un sistema debba avere per essere utilizzabile nel modo più corretto e funzionale possibile.

Analizzata precedentemente la componentistica del Lynx Mobile Mapper, sembrano chiari i tre punti focali sui quali si concentra l'interazione dell'utente (Fig. 1.4.1).

Di seguito verranno analizzate le problematiche relative a questi elementi, partendo dalle considerazioni fatte dai ricercatori del Laboratorio di “Close Range Photogrammetry and Remote Sensing Group”, utilizzatori di questo sistema.

In primo luogo la piattaforma, a cui sono ancorati i laser le camere e il GPS, presenta un problema di accessibilità per quanto riguarda il montaggio e lo smontaggio dal tettuccio della vettura.

Il peso di 66,4 Kg è sicuramente un elemento importante da prendere in considerazione e risulta essere di grave ostacolo al posizionamento di quest'ultimo su di una qualsiasi vettura standard. In più si aggiunge la larghezza dell'apparecchio che non supera di poco il metro e mezzo. Difficoltosa è anche un'ipotetica manutenzione occasionale su strada, data l'altezza cui si trova il laser.

In secondo luogo il controller, da collocare nel bagagliaio della vettura – a cui andranno collegati vari cavi che arrivano dal laser e dal computer, alimentato da una batteria –, esige una modalità di fissaggio all'interno del bagagliaio per evitare scivolamenti e urti.

In terzo luogo si presenta la problematica dell'utilizzo del computer portatile che deve essere tenuto all'interno dell'abitacolo, per monitorare in modo costante il corretto funzionamento delle altre apparecchiature.

A queste problematiche si aggiunge sicuramente quella della vettura che è stata data in concessione dall'Università per questo tipo di operazione: un Nissan Terrano 2.4 SE 5d (Fig.1.3.2). Questa automobile si presta sicuramente bene, per le sue grandi dimensioni, al contenimento di queste apparecchiature, ma risulta anche essere sprovvista di strutture specifiche, o quantomeno utilizzabili, per adoperare al meglio questo sistema e fornire un'accessibilità adeguata.

Facendo quindi una riflessione sulla delicata fase di posizionamento ed installazione degli strumenti e del loro utilizzo durante le operazioni di acquisizione, e tenendo conto della vettura sulle quali esse verranno utilizzate, sono subito chiari i requisiti fondamentali che dovranno essere considerati per affrontare la progettazione di questi supporti.

Per quanto riguarda l'installazione dei laser sul tettuccio, vista l'altezza della vettura, sarà necessario creare un meccanismo in grado di agevolare la fase di montaggio e smontaggio, attraverso un movimento imposto che lo renda posizionabile con la massima sicurezza. Servirà anche ragionare

sul tema di una manutenzione occasionale, creando un appoggio che sia in grado di rendere accessibile il laser dall'operatore durante le operazioni su strada (Fig.1.4.2.1).

In relazione al controller, sarà necessario ragionare sul suo fissaggio all'interno del baule e sugli urti che potrebbe subire, creando un unico supporto che sia elementare nell'installazione e che possa essere utilizzato per il trasporto fino alla vettura (Fig.1.4.2.2).

Infine il computer portatile dovrà essere pensato su di un supporto che ne permetta un utilizzo in termini di stabilità e che sia versatile nel posizionamento. Dovrà poter essere utilizzato: dal sedile del passeggero dall'operatore, dal guidatore dal sedile del passeggero durante una sosta ed utilizzabile anche dai sedili posteriori (Fig.1.4.2.3).

Al fine di progettare al meglio dei supporti adeguati all'utente per interfacciarsi con questo sistema auto-laser, è di primaria importanza ragionare sulla vettura prima citata, per poter agire in modo specifico, tenendo conto della struttura e delle dimensioni utili alla progettazione.

Vista la complessità dell'automobile in termini di rilievo della stessa con metodi tradizionali, si è reso necessario attuare una modalità di acquisizione che permettesse di avere un alto grado di dettaglio e di precisione. La scelta è ricaduta sulla tecnologia di acquisizione tramite laser scanner, in grado di fornire informazioni specifiche al fine di ricreare un modello tridimensionale accurato della vettura.

Il laser in questione è il Riegl LSM Z390i: un laser a Tempo di Volo, utilizzato soprattutto in ambito architettonico, che attraverso il calcolo della distanza tra il laser e l'oggetto colpito dal fascio, riesce a ricreare dei punti nello spazio, da cui è possibile rilevare tutte le informazioni necessarie per la ricostruzione tridimensionale dell'oggetto.

Per comprendere a pieno il percorso che è stato svolto per l'acquisizione della vettura e la scelta dello strumento in questione, nel prossimo capitolo saranno esposte le caratteristiche e il funzionamento di questa tipologia di strumenti utilizzati per il Reverse Modeling, cercando di fornire una panoramica il più precisa possibile sugli elementi da considerare quando ci si approccia a questa tematica.



Fig.1.4.2 _ Nissan Terrano



Fig.1.4.2.1 _ Nissan Terrano: dettaglio accessibilità tettuccio



Fig.1.4.2.2 _ Nissan Terrano: dettaglio bagagliaio



Fig.1.4.2.3 _ Nissan Terrano: dettaglio abitacolo, sedile del passeggero

CAPITOLO 2

I laser scanner terrestri

La tecnologia può essere un valido supporto per una progettazione coerente.

Come anticipato nel capitolo precedente, la prima parte di avvicinamento al progetto si è concentrata sull'acquisizione tridimensionale della vettura su cui è necessario installare la componentistica per il corretto utilizzo del Mobile Laser Scanner Lynx.

Abbiamo già constatato che esistono innumerevoli modalità di acquisizione di oggetti e scenari. Ma è forse utile iniziare ad escludere alcune di queste tipologie, poiché poco adatte sia alle caratteristiche del prodotto che al livello di dettaglio necessario dalla scansione.

Prenderemo quindi in considerazione le tecniche definite "ottiche", che si basano sull'interazione che avviene tra luce e materia.

Queste tecniche sono di tipo non-invasivo e il loro funzionamento si definisce tramite una delle principali caratteristiche della luce, la riflettività.

In questo senso è possibile suddividere le tecniche ottiche in due categorie: quelle che si basano su sensori passivi e quelli che si basano su quelli attivi. (Fig. 2.1)

Prima di partire con l'esplicazione di queste modalità di rilievo è utile definire che «i sensori tridimensionali sono strumenti che consentono di generare un'immagine 3D dalla scena che inquadrano» attraverso la misurazione e la registrazione di energia elettromagnetica. [Guidi et al. 2010]

La sostanziale differenza tra i sensori passivi ed attivi è la natura della luce che utilizzano per l'acquisizione.

Le tecniche passive infatti misurano la radiazione disponibile emessa dagli oggetti in modo naturale. In sostanza riescono ad acquisire informazioni di carattere geometrico attraverso l'osservazione di una scena, convogliata per mezzo di un sistema ottico.

Parlando di questi sensori, sono due i principali svantaggi che è utile considerare. Per prima cosa, essendo questi sistemi capaci di registrare solo l'energia che è disponibile in natura, non possono essere utilizzati in ogni occasione: dipenderà dall'ambiente, dal tempo, dalla stagione, dall'ora del

giorno. In secondo luogo questa tecnica richiede un grande impegno da parte dell'operatore che deve gestire in modo manuale le informazioni rilevate. Infatti una volta acquisiti i dati, è necessario rielaborarli tutti manualmente per poter identificare dei punti tridimensionali sulle immagini statiche degli oggetti.

Esempi di queste tecniche sono la fotogrammetria, il teodolite, la topografia. Esse sono utilizzate principalmente quando sono facilmente rintracciabili dei punti principali all'interno della scena.

I sensori attivi emettono invece una radiazione luminosa diretta verso l'oggetto da acquisire. In sostanza la luce viene riflessa dall'oggetto e registrata e misurata dal sensore. In questo modo vengono acquisite un insieme di coordinate tridimensionali, ognuna delle quali rappresenta la posizione nello spazio 3D dei punti. Queste tecniche utilizzano una luce laser per estrapolare le informazioni dall'oggetto. Il laser è una luce codificata e per questa ragione non c'è bisogno di attributi ambientali ottimali. Infatti la sorgente di luce viene inviata dallo strumento che ne conosce a priori ogni sua caratteristica.

Queste tecniche si sono sviluppate dagli anni '50 con l'avvento della tecnologia laser e sono metodi prettamente digitali a differenze dei sensori passivi che sono per lo più analogici.

Il sistema di misurazione dei sensori attivi per mezzo di laser è certamente recente, ma il principio della misura della distanza fu utilizzata già parecchi secoli fa dai greci che impiegavano le basi della triangolazione per la navigazione e gli studi di astronomia.

I sensori attivi sono quelli che hanno certamente più potenzialità di sviluppo e su cui ci si sta maggiormente concentrando, perché vanno di pari passo con il progresso tecnologico.

Esempi di questi metodi sono i laser scanner terrestri – strumenti che verranno approfonditi dal paragrafo 2.2.

A differenza di quelle precedenti, queste sono tecniche semi-automatiche, in cui il post-processo si riduce in maniera importante insieme allo sforzo dell'operatore (questo salvo modelli con numerosi dettagli e zone d'ombra).

Viste le dimensioni e le forme del Nissan Terrano ci si è rivolti verso la metodologia di scansione per mezzo di sensori attivi, essendo i più appropriati per rilevare le informazioni utili per la ricostruzione di questo modello tridimensionale (soprattutto per la quantità di dettagli).

Prima di esporre la tecnologia del Laser Scanner e gli aspetti da tenere in considerazione quando ci sia appresta ad effettuare una scansione, è utile

introdurre il concetto di Laser e soffermarsi su alcune sue caratteristiche, in modo da meglio comprendere il funzionamento alla base di queste apparecchiature

Parole chiave:

L.A.S.E.R., Laser Scanner, Triangolazione, Tempo di Volo, Reverse Modeling

2.1. Laser: definizione e caratteristiche

L.A.S.E.R. – acronimo di Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation - è una luce monocromatica con una ristretta larghezza spettrale e frequenze fra l'infrarosso e l'ultravioletto.

Brevemente, il fascio laser si crea a partire da atomi in condizione di equilibrio, in cui gli elettroni sono disposti in modo tale da minimizzare la loro energia potenziale.

Se l'elettrone viene eccitato, tramite una considerevole aggiunta di energia, si allontana dal nucleo del suo atomo e si avvicina ad un altro nucleo. Quando questo elettrone arriva in prossimità di un altro atomo, lo stimola: esso per diseccitarsi libera dell'energia sotto forma di fotone, identico a quello precedente. Questo processo – detto population inversion – continua fino al termine della stimolazione e fa costantemente emettere energia agli atomi presenti. Si ottiene quindi una cascata di emissioni stimulate, che prende il nome di laser.

Non tutti questi fotoni, avendo lunghezze d'onda differenti e quindi trasportando diverse quantità di energia, riescono però ad eccitare gli atomi. I fotoni rimanenti vengono quindi assorbiti o convertiti in altre forme di energia, soprattutto in calore.

Il laser è costituito da energia elettromagnetica, ma a differenza della luce naturale, i fotoni sono emessi in tutte le direzioni con differenti lunghezze d'onda. Come abbiamo visto però il laser è una luce monocromatica con un raggio molto ristretto. Serve quindi che i fotoni percorrano una distanza maggiore prima di uscire dall'apparecchio. Per questa ragione il materiale di supporto del laser è costituito da una barra allungata con due specchi curvi posti alle estremità: uno che riflette al 100% e l'altro al 95%, in modo che il raggio laser possa uscire dopo esser stato convogliato da una lente di focalizzazione. Gli specchi riflettono la luce migliaia di volte e fanno sì che i fotoni percorrano una distanza considerevole prima di uscire dalla cavità. (Fig. 2.1.1)

Mostrato il concepimento del fascio laser, è utile puntualizzare sulle sue caratteristiche principali.

In primo luogo, come prima anticipato, il laser è una luce monocromatica. Ciò significa che possiede frequenza costante lungo tutto il suo percorso. Queste onde che possiedono la medesima frequenza si collegano alla seconda caratteristica: la coerenza temporale. La coerenza spaziale invece è la particolarità delle onde di avere un andamento parallelo, quindi unidi-

rezionale.

Importante è anche definire l'intensità del raggio laser: infatti esso non è uniforme, tendendo ad essere maggiore al centro.

E così come per l'intensità, anche la sezione del fascio non è uniforme. Più il raggio si allontana dalla cavità, più tende ad ampliarsi aumentando così la sua sezione. Questo fenomeno viene chiamato divergenza.

Aspetto importante da considerare riguardo il laser è la sicurezza, sia per la vista che per la cute. È dunque possibile definire cinque diversi gradi di pericolosità (Classe 1, 2, 3A, 3B, 4) in base ai rischi che si incorrono dopo l'esposizione. La Classe 1 è la meno dannosa e poi via di seguito aumenta il rischio.

I laser scanner hanno lunghezze d'onda comprese tra i 400 e i 600 nm (radiazione visibile) quindi non sono dannosi per la vista, appartenendo alla Classe 1-2.

La lunghezza d'onda è una caratteristica fondamentale del raggio laser. Essa è influenzata da differenti fattori quali il materiale utilizzato nella cavità, la modalità con cui vengono eccitati gli atomi e il principio di funzionamento del laser.

Focalizzandoci sul principio di funzionamento è possibile suddividerli in due categorie di strumenti: i laser triangolatori e i laser distanziometrici (a Tempo di Volo o a differenza di fase).

Nei prossimi paragrafi verranno esposti i fondamenti di queste tecnologie e saranno presentati nel dettaglio i laser scanner che si basano sul principio della distanza.

Per meglio capire gli argomenti che verranno di seguito trattati è opportuno definire cosa sia un Laser Scanner.

«Sono considerati Laser Scanner 3D tutti quegli strumenti in grado di acquisire le coordinate spaziali di una data regione o della superficie di un oggetto, in modo automatico, sistematico, e con un'alta velocità». [da Tecniche di rilevamento tridimensionale tramite laser scanner. Volume I – Introduzione generale di M. Sgrenzaroli, G.P.M. Vassena]

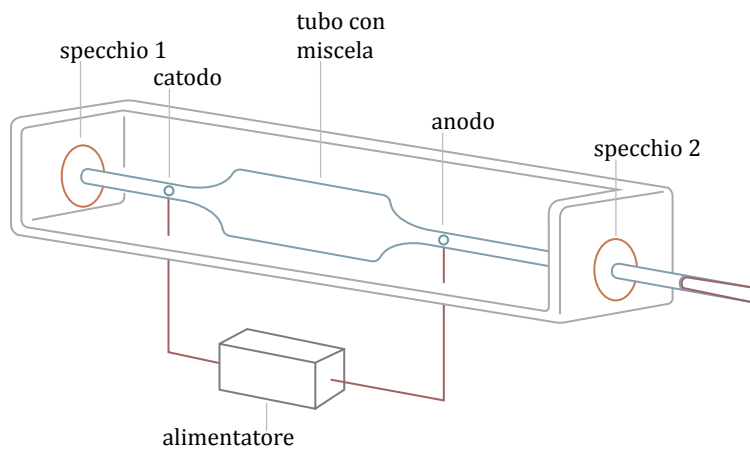


Fig.2.1.1 _ Schema struttura interna di un laser

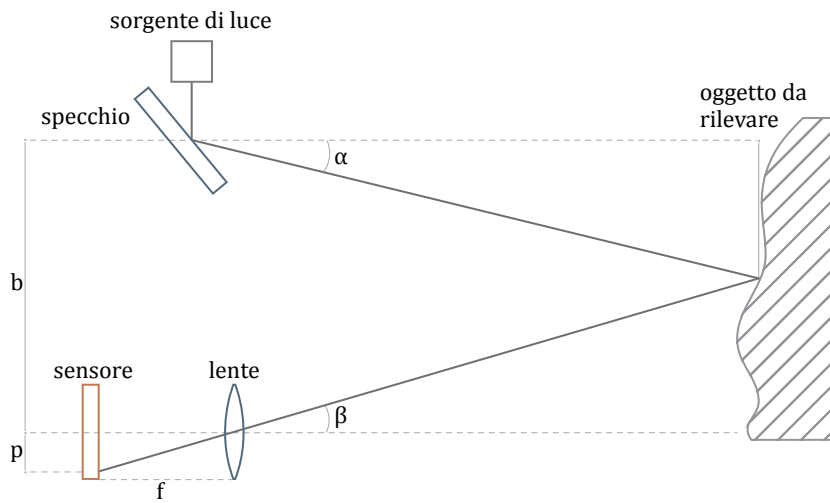


Fig.2.2.1 _ Schema funzionamento laser scanner a triangolazione

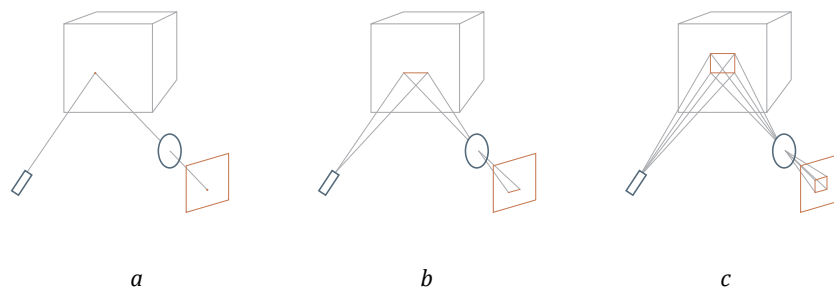


Fig.2.2.2 _ Laser a triangolazione: single spot (a), slit scanner (b), pattern projection (c)

2.2. I Laser Scanner a triangolazione

I laser scanner a triangolazione sono apparecchiature molto diffuse. Sono utili soprattutto per effettuare scansioni per misure di precisione poiché la loro accuratezza è molto elevata (stando sotto i micrometri).

In sostanza questi sistemi sono composti da un raggio laser che, deflesso da uno specchio rotante secondo un passo incrementale, colpisce un oggetto con una scansione regolare. Il segnale poi riflesso viene catturato da uno o più sensori di immagine a stato solido CCD (Charge Coupled Device) o CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor). La sorgente da cui parte il raggio e questi sensori, adibiti alla ricezione del segnale di ritorno, sono posti ad una distanza prefissata e calibrata, detta baseline (b), e per questo sono in grado di acquisire il segnale ed elaborarlo. Prima di arrivare al sensore, il segnale di ritorno passa attraverso un foro, la cui distanza dal sensore è nota e denominata distanza focale (f), e viene proiettato sul sensore in modo disassato rispetto al centro ottico dell'apparecchio (p). Essendo noti però l'angolo di partenza del raggio, la baseline e la distanza focale, sarà calcolata automaticamente, con semplici relazioni trigonometriche, la distanza p e si estrapoleranno così le coordinate dei punti rilevati. Il laser e il sensore sono contenuti in un'unica unità chiamata scanner head. (Fig. 2.2.1)

Questa tipologia di laser, come anticipato precedentemente, è impiegata per la rilevazione di piccoli oggetti. È molto utilizzata soprattutto per l'acquisizione dei beni culturali (sculture, rilievi, ecc) e per scopi industriali.

In questa categoria di apparecchi però sono presenti strumenti decisamente differenti tra di loro, che si distinguono per le tipologie di laser e di fotodiodi ricevitori (sensori) che utilizzano.

Possiamo suddividere i laser a triangolazione in tre categorie principali: i single spot, gli slit scanner e i pattern projection. (Fig. 2.2.2)

Il primo gruppo di laser, i single spot, scannerizzano l'oggetto da rilevare punto per punto. Il processo di acquisizione è sostanzialmente quello descritto precedentemente: il raggio laser viene inviata sull'oggetto dopo esser stato deviato da uno specchio e la camera misura la posizione del punto illuminato sulla superficie dell'oggetto.

Questa tipologia esiste anche con due camere, aumentando così l'accuratezza delle misure.

I single spot sono laser certamente molto accurati ma anche decisamente costosi.

Gli slit scanner sono una sorta di evoluzione della tipologia precedente. Utilizzano un laser riflesso su di uno specchietto rotante o una lente cilindrica, per generare una lama di luce.

In questo modo proietta un'intera linea sull'oggetto e ne rileva l'intero profilo con il medesimo meccanismo dei laser single spot.

Questi sistemi arrivano ad acquisire su angoli dai 20 e 30 gradi, ma possono arrivare fino ai 60 utilizzando lenti anamorfiche. Questo è sicuramente uno svantaggio poiché limita la superficie di azione della scansione e quindi obbliga la misurazione di oggetti di dimensioni molto ridotte.

Un altro svantaggio considerevole di questi apparecchi è l'influenza della luce ambientale: infatti la lama di luce su di un intero profilo distribuisce la potenza in tutta la sua lunghezza. Questo porta, in presenza di un'eccessiva illuminazione, al disturbo del laser e alla conseguente creazione di un considerevole "rumore" nelle scansioni.

Un esempio di questo tipo di laser scanner è il Minolta Vivid 910 (Fig. 2.2.3), apparecchio utilizzato presso il Laboratorio di Reverse Modeling del Politecnico di Milano.

L'ultima categoria, i pattern projection, utilizzano la proiezione di una luce strutturata per illuminare l'oggetto. Quel che viene proiettato è praticamente una sequenza di luce di forme codificate, basato sul contrasto. Il proiettore ha la funzione della doppia camera dei laser visti in precedenza e funzionano nel medesimo modo.

I pattern projection laser possono essere di due tipologie: a frange codificate oppure a effetto Moiré.

I sistemi a frange codificate proiettano immagini a codice binario con risoluzione crescente. Tutte le linee sono numerate ed i rispettivi numeri sono definiti con il "Gray-Code" che alterna una striscia bianca ad una nera che differiscono tra loro di un bit e sono proiettate in mezzo secondo.

La tecnica Moiré invece consiste nel proiettare due coppie di reticoli al fine di creare un'interferenza dalla loro sovrapposizione. (Fig. 2.2.4)

È utile puntualizzare che per tutte le tipologie prima esposte, e in generale per tutti i laser scanner (anche distanziometrici), il risultato della scansione consiste in una nube di punti più o meno densa, in cui i punti significativi con le coordinate precise sono presi in modo casuale.

Dopo aver esplorato la categoria dei laser scanner a triangolazione, nel prossimo paragrafo sarà esposto il funzionamento dei laser scanner che si basano sulla misura a distanza, tecnologia utilizzata per la scansione della vettura.



Fig.2.2.3 _ Laser scanner a triangolazione Minolta Vivid 900

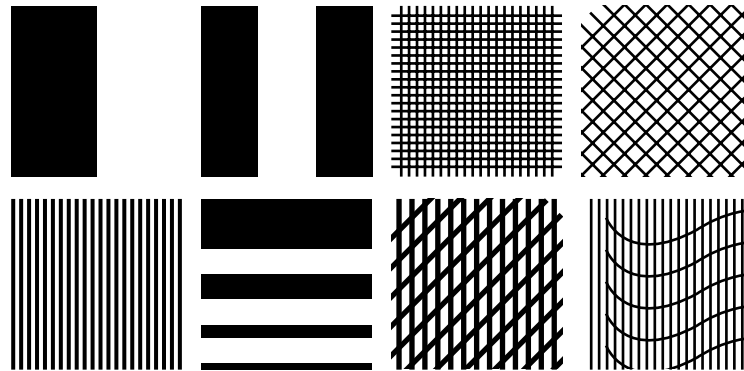


Fig.2.2.4 _ Esempi di patterns di luce strutturata: Gray Code (a), effetto Moiré (b)

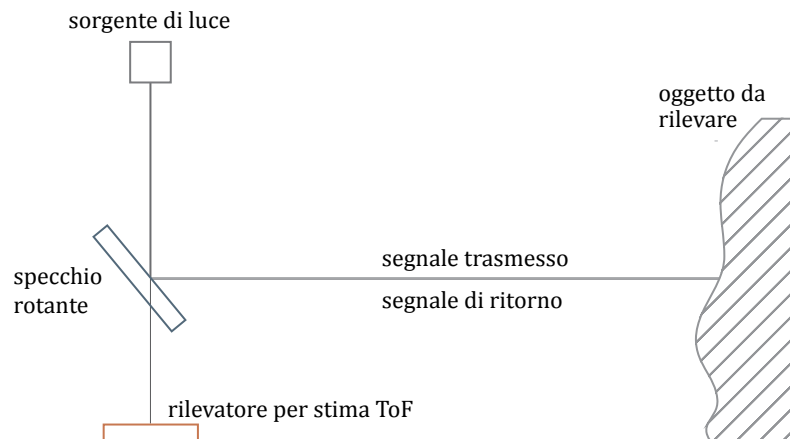


Fig.2.3.1 _ Schema funzionamento laser scanner a Tempo di Volo

2.3. I Laser Scanner distanziometrici

I laser scanner distanziometrici o LIDAR – Light Detection and Ranging - sono tra gli apparecchi più utilizzati per l'acquisizione tridimensionale di oggetti e scenari di grandi dimensioni. La loro diffusione sta incrementando in modo considerevole soprattutto nel campo dei beni culturali e questa tecnologia continua a migliorare in termini di versatilità di utilizzi, di costi e di accuratezza.

Questi apparecchi funzionano con lo stesso principio delle stazioni totali topografiche, in cui si misurano i punti più significativi di un oggetto in modo che siano ben riconoscibili nel contesto. Ma al contrario di queste ultime, la tecnologia per mezzo di laser non consente il rilevamento di punti singoli, poiché il processo di acquisizione è automatico. In sostanza si seleziona un'area e tutti i punti rilevabili vengono acquisiti ed utilizzati per la ricostruzione tridimensionale.

In questa categoria di laser scanner è possibile individuare due tipologie di strumenti che si differenziano in base alle modalità di misurazione della distanza.

Il primo gruppo sono i distanziometri ad impulsi che si basano sul principio del Tempo di Volo (ToF).

Il secondo gruppo sono i distanziometri a misura di fase che calcolano lo sfasamento tra l'onda di andata e quella di ritorno.

Entrambi questi sistemi basano la propria misurazione sulla distanza fra il centro dello strumento e il primo punto che il raggio laser incontra nel suo tragitto. In questo modo, con la conoscenza dell'angolo di partenza del raggio e quello di ritorno, è possibile determinare la posizione del punto preso in esame.

I laser scanner appartenenti alla prima (Fig. 2.3.1) categoria sono strumenti in grado di rilevare lunghe distanze, fino anche ad arrivare ai 1500 m. Questi apparecchi sono composti da differenti componenti: un laser semi-conduttore a infrarossi, un sistema di specchi rotanti che direzione il raggio, la lente di ricezione che cattura il segnale di ritorno, un diodo di ricezione che converte il fascio luminoso in un impulso elettrico ed un orologio al quarzo stabilizzato che calcola il tempo tra la partenza e il ritorno del segnale.

In pratica nei laser scanner a Tempo di Volo (Fig. 2.3.2) un generatore aziona il laser che invia un fascio verso l'oggetto da rilevare dopo esser stato direzionato da un sistema di specchi rotanti. Quando arriva al traguardo viene riflesso dall'oggetto e torna indietro verso l'apparecchio. Qui

passa all'interno della lente di ricezione e viene trasformato nuovamente in impulso elettrico in modo da poter calcolare il tempo trascorso tra l'emissione e la ricezione del raggio. A questo punto verrà effettuata una stima del ritardo e si conoscerà così la posizione tridimensionale esatta del punto rilevato, calcolando il tragitto del laser in base alla relazione:

$$r = (ToF \times c)/2$$

Per capire questa relazione è opportuno tenere in considerazione che il tragitto compiuto dal laser è doppio rispetto alla distanza tra laser scanner e oggetto, poiché c'è sia il raggio di andata che quello di ritorno. Conoscendo la velocità della luce nel vuoto ($c = 3 \times 10^8$) e moltiplicandola per la stima del Tempo di Volo, è quindi possibile rilevare la distanza tra l'oggetto ed il laser.

Essendo l'angolo di emissione conosciuto, il sistema calcola in tempo reale le coordinate del punto rilevato su di un computer ad esso connesso.

Questa tipologia di laser ha un range di errore che va dai millimetri ai due-tre centimetri. Esso è dovuto al fatto che questi apparecchi «utilizzano dei sistemi per la deflessione del segnale che permettono piccolissime rotazioni ed utilizzano algoritmi semplificati per l'elaborazione del segnale di ritorno». [Sgrenzaroli, Vassena, 2007]

In compenso hanno la possibilità di acquisire un'enorme quantità di dati in tempi brevissimi e senza danneggiare l'oggetto rilevato in alcun modo. Possono arrivare ad acquisire fino a 12.000 punti al secondo.

Sempre per quanto riguarda l'accuratezza della scansione è opportuno tenere in considerazione che la velocità della luce dipende dal mezzo di trasmissione e dal suo indice di rifrazione. Necessario diventa quindi valutare dei parametri ambientali – quali temperatura, umidità e pressione – per poter correggere il valore ed arrivare ad una misurazione il più precisa possibile.

Al contrario dei sistemi basati sul Tempo di Volo, quelli a differenza di fase hanno un'accuratezza molto superiore, con un range di errore che va dai 25 μm al centimetro. E oltretutto riescono ad acquisire una quantità di dati ancora superiore ai precedenti, fino ai 625.000 punti al secondo, anche se l'elaborazione è decisamente più lenta.

La scansione effettuata da questi apparecchi risulta a risoluzione molto elevata, quasi paragonabile ad un'immagine fotografica panoramica.

Essendo però così dettagliate, le scansioni non possono che perdere in

ampiezza: infatti questi strumenti hanno un range massimo di distanza di 100 m circa, per evitare eventuali ambiguità nella fase di ricezione del segnale.

I laser scanner a differenza di fase utilizzano un raggio laser modulato con un'onda armonica. La distanza viene quindi calcolata comparando la differenza di fase tra l'onda trasmessa e quella ricevuta. Gli algoritmi sfruttati da questa tecnologia sono certamente più complessi di quelli precedenti e ciò permette di ottenere – come detto precedentemente – un'accuratezza maggiore.

Questi sistemi si possono distinguere in due tipologie in base al tipo di modulazione che utilizzano.

Se si utilizza una radiazione luminosa con frequenza fissa ed ampiezza variabile nel tempo abbiamo la modulazione AM, Amplitude Modulation.

Abbiamo invece la modulazione FM, Frequency Modulation, quando l'intensità luminosa viene alterata nel tempo e modulando linearmente la frequenza.

Per questi apparecchi è possibile fare numerose altre suddivisioni in base ad esempio alla portata della scansione, secondo il campo di visione, ecc. Alcune di queste modalità verranno citate nel paragrafo successivo in cui saranno esplicitati alcuni degli aspetti fondamentali da tenere in considerazione quando si effettua una scansione tridimensionale.

Successivamente sarà riportato un esempio di laser scanner a Tempo di Volo, strumento che sarà poi utilizzato per l'acquisizione del Nissan Terrano.

2.4. Gli aspetti da considerare

Per effettuare una scelta coerente del sistema di acquisizione più appropriato da utilizzare, è necessario tenere in considerazione differenti aspetti che vanno da caratteristiche tecniche e funzionali del laser scanner a caratteristiche di tipo più pratico.

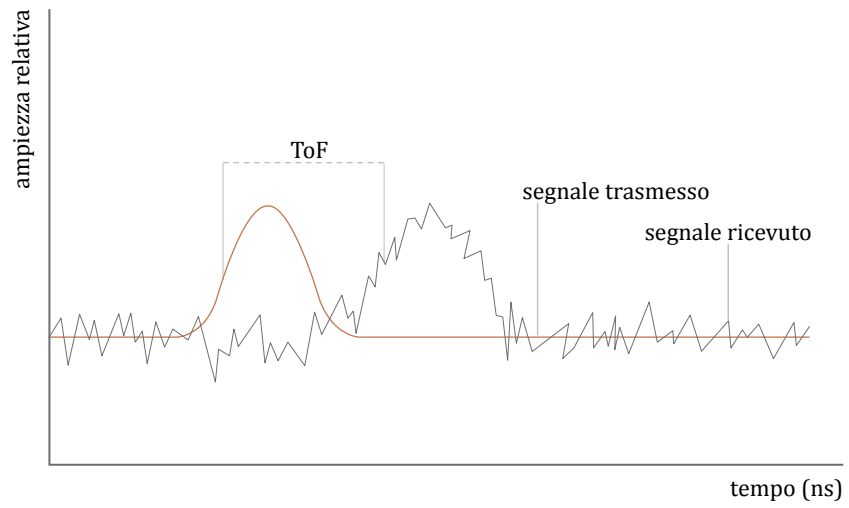


Fig.2.3.2 _ Grafico segnali trasmesso e ricevuto: stima del Tempo di Volo

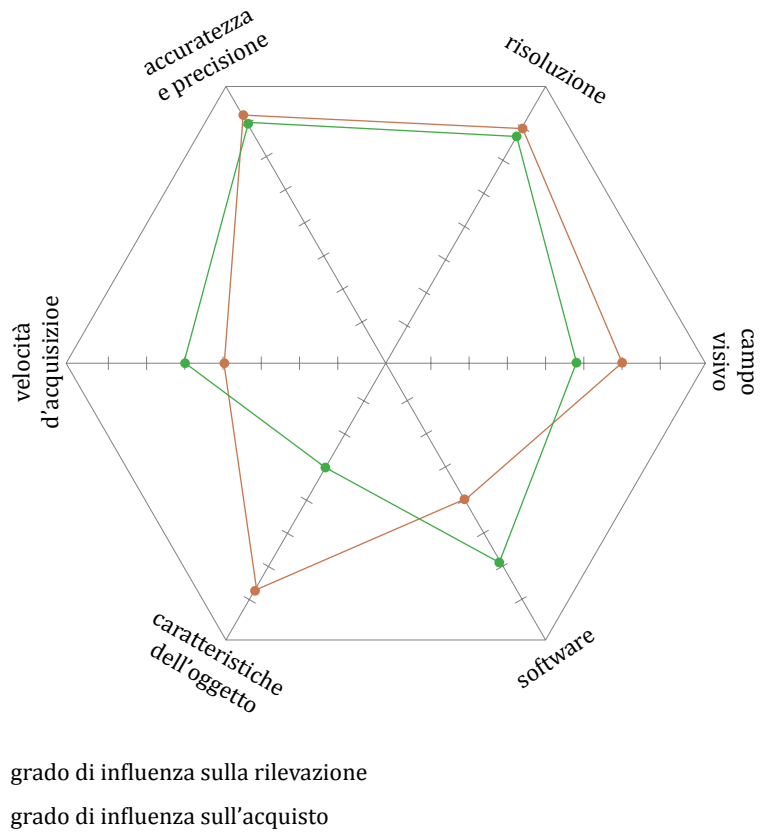


Fig.2.4.4 _ Grafico degli aspetti da considerare per un rilievo tridimensionale

Accuratezza, risoluzione, velocità di scansione, campo visivo, trasporto, precisione, oggetto della scansione, sono solamente alcuni di questi aspetti che devono essere oggetto di un'attenta valutazione da parte dell'operatore che svolge la rilevazione.

Sebbene nei paragrafi precedenti siano state esposte delle linee guida da cui è possibile scegliere uno strumento rispetto ad un altro – che sia per caratteristiche dell'oggetto oppure per il dettaglio richiesto dalla scansione –, non è sempre compito facile decidere su quale apparecchio la scelta dovrà ricadere.

In effetti oggi non esiste ancora uno strumento che ha la capacità di soddisfare contemporaneamente tutti i requisiti di accuratezza, risoluzione e range di misura. E in più è anche molto difficile scegliere tra i vari modelli di laser (di differente o medesima categoria) presenti sul mercato. I produttori infatti svolgono dei test sui propri strumenti che sono difficilmente comparabili con i risultati degli altri, poiché utilizzano informazioni e modalità di calibrazione differenti.

Qui di seguito verranno prese in considerazione alcune delle caratteristiche fondamentali – prima citate – da considerare per poter valutare nel modo più completo possibile l'utilizzo di uno strumento che dia un risultato finale soddisfacente per lo scopo dell'acquisizione. (Fig. 2.4.1)

2.4.1. Accuratezza e precisione

L'accuratezza è uno dei fattori determinanti di un laser scanner. Essa «rappresenta l'errore tra la misura di una quantità e il suo valore reale». [Guidi et al., 2010]

Ciò significa che questa caratteristica influisce in modo diretto con la qualità globale dell'acquisizione. Una scansione poco accurata è infatti difficilmente utilizzabile per la ricostruzione di un oggetto tridimensionale. Le scarse informazioni che possiede rispetto all'oggetto scansionato rischiano di provocare un errore di misura notevole e renderebbero il modello finale poco utile per i fini del rilevamento.

L'accuratezza dipende da molti altri fattori.

In primo luogo essa varia in modo lineare con la distanza dell'oggetto di scansione. Come visto per i sistemi Tof, che possono scansionare oggetti molto distanti, essi perdono in accuratezza e risoluzione poiché – come detto nel paragrafo 2.1 – il raggio laser tende ad aumentare la sua sezione via via che si allontana dall'emettitore e questo fa perdere sicuramente dei

dati importanti perché il segnale di ritorno sarà più debole e quindi più soggetto ad ambiguità.

In secondo luogo dipende anche dal livello di dettaglio che si vuole ottenere. Naturalmente più punti vengono rilevati, maggiori saranno le informazioni acquisite dal sistema. In ogni caso un'alta quantità di punti può essere una lama a doppio taglio. Certo aumenta il dettaglio della scansione, ma può anche provocare ridondanza di informazioni e questo porterebbe ad un'ulteriore diminuzione dell'accuratezza.

In terzo luogo dipende dal materiale dell'oggetto da scansionare e dalle sue caratteristiche fisico-geometriche (punto che verrà trattato in dettaglio nel paragrafo 2.4.5).

L'accuratezza è quindi un fattore allo stesso tempo importante e delicato e può essere soggetto ad errori considerevoli.

In questi termini possiamo suddividere gli errori riscontrabili in due tipologie: errori interni ed errori esterni.

Gli errori interni derivano da imperfezioni di fabbricazione dello strumento laser e si possono suddividere a loro volta in due categorie: errori interni fondamentali o specifici.

I fondamentali non sono eliminabili poiché dovuti a limitazioni naturali della tecnica di misurazione della distanza o di esplorazione.

Quelli specifici sono errori che possono essere colmati migliorando il disegno del sistema dell'apparecchio in questione. Sono sostanzialmente errori derivanti da un malfunzionamento dell'hardware del laser scanner.

Gli errori esterni sono invece connessi con problematiche ambientali e metodologiche. Per supplire a questa tipologia di errori è necessario considerare alcuni fattori determinanti. In relazione all'oggetto da scansionare è utile valutare: il materiale, il colore e la conformazione della superficie, l'angolo di incidenza del raggio laser, la temperatura e l'umidità della superficie, ecc. In relazione ai fattori ambientali è opportuno considerare: la temperatura e la pressione atmosferica, l'umidità (relativa), l'illuminazione e la vibrazione ambientale, ecc.

Parlando di errori è corretto introdurre un'altra caratteristica importante degli scanner laser, la precisione. Definiamo questo fattore come la «dispersione delle misure intorno alla loro media». [Guidi et al, 2010]

Accuratezza e precisione non sono proporzionali e dipendono in gran parte dalla calibrazione effettuata dell'apparecchio e dal suo range di misura.

Il range di misura dipende dalla portata del laser ed esso è connesso direttamente con il dettaglio che si vuole ottenere. È possibili suddividere ulteriormente i laser scanner in base alla distanza che sono in grado di coprire.

Troviamo i laser a piccola portata che coprono un range minore di un metro, con precisioni sub-millimetriche.

I laser a media portata coprono distanze tra uno e cinquanta metri, con precisioni tra i 2 e i 6 millimetri.

Infine quelli a lunga portata acquisiscono oggetti distanti tra i 50 e i 1500 metri, con precisioni sicuramente più basse tra i 5 millimetri e i 2-3 centimetri.

2.4.2. Risoluzione

La risoluzione è un fattore determinante per la scelta o meno di uno strumento. Essa è connessa alla densità della nuvola di punti che viene rilevata durante una campagna. È possibile definirla come la capacità, da parte di un apparecchio, di rilevare oggetti di dimensioni minime e dipende in modo diretto dall'insieme delle caratteristiche ottiche, elettroniche e meccaniche dello strumento.

Come detto nel paragrafo precedente, anche la risoluzione dipende dal livello di dettaglio che si vuole ottenere. E un'alta quantità di punti, non accuratamente rilevati, porterebbe inevitabilmente ad errori notevoli.

È quindi chiaro come risoluzione, accuratezza e precisione debbano lavorare in modo sincrono per acquisire in modo corretto un oggetto tridimensionale.

A differenza delle caratteristiche precedenti, la risoluzione è un elemento che può essere modificato manualmente dall'operatore che può decidere che dettaglio necessita per i suoi fini.

Anche la risoluzione è influenzata da diversi fattori.

Caratteristiche superficiali dell'oggetto della scansione e condizioni ambientali sono requisiti da valutare attentamente per non incorrere in una diminuzione consistente della risoluzione della scansione.

La risoluzione è soggetta anche a perdite di dettaglio durante la fase di elaborazione successiva. Infatti durante il post-processo, la nube di punti viene pulita, filtrata (soprattutto per oggetti grandi e livelli di dettaglio considerevoli) poiché l'elevata quantità di punti porterebbe ad un rallentamento nel lavoro.

Quando parliamo di risoluzione è opportuno considerare che l'incremento angolare e le dimensioni dello spot, concorrono alla sua definizione. È quindi fondamentale che gli specchi, i prismi e le parti meccaniche per la ricezione del segnale funzionino correttamente, insieme ad un laser con un passo angolare ridotto che permetta di contenere le distanze tra i punti della nube e determinare con ambiguità minore il suo centro.

2.4.3. Velocità di acquisizione

Quando ci si accosta al rilevamento di un oggetto è necessario definire a priori quali siano le esigenze operative del progetto. Elemento fondamentale da definire in questo campo è anche il tempo disponibile sia per effettuare le scansioni sia per elaborarle.

Questa pianificazione deve essere organizzata in modo consapevole, partendo dal presupposto che a differenti strumenti corrispondono diverse tempistiche.

La velocità di acquisizione deriva da fattori quali il campo visivo, il passo angolare, il range di misura, la distanza dell'oggetto.

Ogni strumento ha caratteristiche tecniche ben precise con velocità definite in base alla risoluzione che si vuole ottenere. Le scansioni infatti possono durare da qualche secondo a anche ore.

È possibile stimare una media di punti acquisibili al secondo considerando le tecnologie esistenti sul mercato. Per sistemi a triangolazione che lavorano su un'area si può arrivare fino a 200.000 punti al secondo, mentre per quelli a lama di luce la velocità si dimezza fino all'incirca a 100.000 punti al secondo.

I laser scanner a Tempo di Volo sono più lenti anche se oggi, con il continuo sviluppo tecnologico, esistono apparecchi in grado di acquisire fino a 500.000 punti al secondo (densità raggiunta anche dai sistemi a differenza di fase).

In generale però non è possibile utilizzare le massime prestazioni degli strumenti e soprattutto bisogna tenere in considerazione il fattore della distanza. Infatti più si aumenta il range di rilevazione più l'acquisizione sarà lenta poiché il laser dovrà percorrere distanze maggiori e sarà soggetto a molte informazioni, anche non rilevanti.

Bisogna poi porre attenzione al fatto che diminuendo la velocità di acquisizione, si ridurrà in proporzione anche la risoluzione della scansione e ciò farebbe perdere dettagli utili per la ricostruzione. Questo porterebbe

quindi ad un lavoro successivo più lungo e difficoltoso da parte dell'operatore.

2.4.4. Campo visivo

In base all'oggetto da scansionare è necessario considerare il campo visivo che lo strumento possa raggiungere. È quindi possibile fare una nuova suddivisione dei laser scanner in base alla loro visibilità. Troviamo quindi: i camera scanner, gli scanner tipo ibrido e i panorama scanner.

I camera scanner sono strumenti che hanno un campo visivo limitato, paragonabile a quello di una fotocamera. Hanno limitazioni nella rotazione orizzontale dai 30 ai 40 gradi, e verticale fino a 60. Riescono quindi a scansionare solo una scena specifica e per questo sono utilizzati prevalentemente per rilevamenti ambientali oppure superfici poste a lunga distanza. (Fig. 2.4.4.1)

I laser scanner tipo ibrido sono apparecchiature in grado di compiere una rotazione completa solamente attorno ad uno degli assi; quella attorno al secondo è limitata ad angoli tra i 60 e 70 gradi. (Fig. 2.4.4.2)

I panorama scanner hanno una visibilità quasi sferica, limitata solamente dalla base dello strumento. Raccogliendo informazioni da tutte le direzioni, questa tipologia di scanner si presta bene al rilevamento di edifici e gallerie. (Fig. 2.4.4.3)

2.4.5. Caratteristiche dell'oggetto

Durante una campagna di rilevazione diventa di primaria importanza conoscere le caratteristiche dell'oggetto da acquisire. Come ben esposto nel paragrafo 2.4.1, è ben chiaro come le specifiche di un oggetto possano influire in modo consistente sulla qualità della scansione, provocando errori in fase di rilevamento.

Un primo elemento da valutare è la riflettività del materiale. Infatti sui materiali con elevate capacità radio-assorbenti, il raggio laser perde d'intensità nel ritorno provocando così ambiguità nel segnale ricevuto. Ciò limita la portata del laser che non è in grado di ricevere sufficienti informazioni e perde quindi di qualità. Questo accade anche con materiali che vengono attraversati dal fascio, come per esempio per il vetro. Il fascio arriva all'oggetto e solamente una piccola percentuale viene riflessa: il resto viene rifratto e fa perdere quindi numerosi dati.

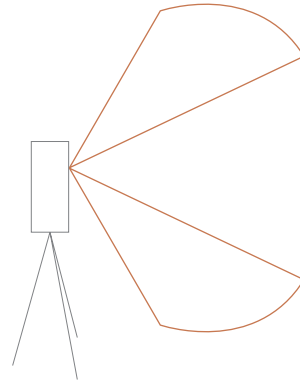


Fig.2.4.4.1 _ Campo visivo dei camera scanner

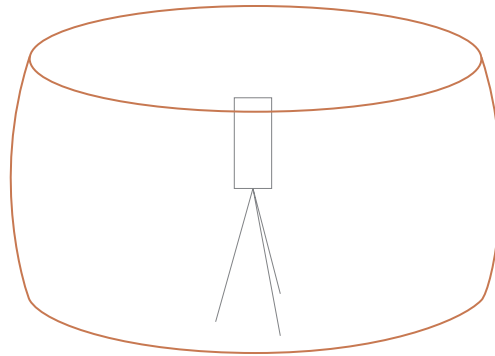


Fig.2.4.4.2 _ Campo visivo degli scanner tipo ibrido

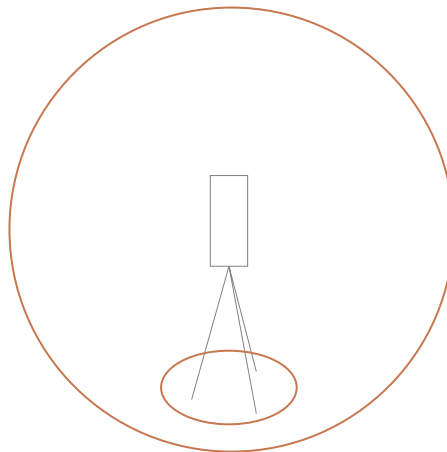


Fig.2.4.4.3 _ Campo visivo dei panorama scanner

Oltre che per il materiale, il problema si pone anche per oggetti con una superfici frastagliate o inclinate (angolo di incidenza del laser) e per oggetti con molte zone d'ombra e angoli vivi. Tutti questi fattori influiscono sul risultato finale delle scansioni e rendono difficile una misurazione corretta.

Anche importanti condizioni di umidità della superficie può essere di ostacolo alla rilevazione poiché causa una forte dispersione del segnale. Le caratteristiche fisiche ed ambientali sono quindi limitanti se non si svolge una riflessione accurata sulle modalità con cui colmare queste problematiche.

Quando parliamo di caratteristiche dell'oggetto è corretto parlare, non solo della modalità con cui scansionarle e come risolvere i limiti di rilevazione, ma anche della loro accessibilità.

La praticità e la semplicità di trasporto dell'oggetto (e del laser scanner), durante una campagna di acquisizione, sono fattori determinanti perché possono limitare o meno la fase operativa della scansione.

Peso e dimensione, piano di appoggio, supporti, ecc, diventano i presupposti base da cui partire per poter effettuare una buona campagna.

Questo argomento verrà sviluppato nello specifico nel paragrafo 3.1 parlando del progetto di presa, step fondamentale da cui si originano tutte le operazioni successive.

2.4.6. Softwares

Elemento fondamentale dell'acquisizione con laser scanner è certamente il software. Il pacchetto software viene dato in dotazione assieme allo strumento. Assieme alle caratteristiche tecniche del laser, il programma di elaborazione risulta essere un fattore incredibilmente importante per la scelta di un laser rispetto ad un altro.

Il software viene utilizzato per gestire la fase di scansione, impostando i parametri per una buona riuscita dell'operazione, ma è fondamentale anche nella fase di post-processo per il filtraggio dati, la fusione delle scansioni, la triangolazione.

Una buona interfaccia deve risultare semplice ed intuitiva, versatile a varie tipologie di operazioni e deve essere in grado di gestire in modo rapido e veloce i dati rilevati.

Caratteristiche importanti del software sono ad esempio la possibilità di

avere un'anteprima prima di avviare la scansione, avere un contatore che indica il tempo rimanente per concludere l'operazione, la possibilità di poter selezionare in automatico dei target utile per la successiva fase di fusione.

E naturalmente è necessario che i formati siano compatibili ed esportabili in altri software per successivi aggiustamenti.

Durante le operazioni svolte durante il percorso di rilevazione ed elaborazione del Nissan Terrano sono stati utilizzati più software per il completamento del modello. Riscan Pro è stato il software utilizzato per la scansione 3D e le fasi di fusione e triangolazione. Gli errori topologici e le lacune sono state eliminate in Rapidform e Polyworks, dove sono stati anche estrapolati i profili poi importati in Rhinoceros per la fase finale di ricostruzione del modello.

Di seguito verranno brevemente descritti i software in questione per quanto riguarda funzionalità ed utilizzi.

RiSCAN PRO

Riscan Pro è il software utilizzato dai sistemi Laser Scanner Terrestri Riegl. Esso gestisce le fasi di acquisizione della nube di punti e anche il successivo post-processo.

Attraverso questo software è possibile acquisire in modo automatico un gran numero di informazioni e dati, tra cui dettagli delle scansioni, immagini digitali metriche, le coordinate dei punti di controllo, ecc. Per la fase di post-processo possiede delle funzioni che permettono di ricreare superfici per completare interamente al suo interno il modello finale.

RAPIDFORM

Rapidform, della INUS Technology, è un software sviluppato per l'elaborazione dei dati provenienti da laser scanner. Ha un'interfaccia semplice e gestisce in modo rapido le funzioni di allineamento e restauro delle scansioni.

È soprattutto utile per la fase di chiusura delle lacune, lisciatura, decimazione dei poligoni e altre operazioni quali ad esempio la ricerca e la successiva eliminazione automatica di errori topologici.

POLYWORKS

Polyworks, della Innovmetric, è uno dei software più utilizzati per l'elabo-

razione delle scansioni tridimensionali. Le sue funzioni sono molto simili a quelle di Rapidform, ma in questo caso la ricostruzione di superfici e la chiusura delle lacune risulta essere molto più gestibile. Anche la funzione di fusione tra scansioni risulta essere molto precisa. È molto utile anche per l'estrapolazione di sezioni strutturali al fine di esportarle in un altro software e concludere con la massima precisione la fase di restituzione.

RHINOCEROS

Rhinoceros è un software per la modellazione tridimensionale di superfici. Utilizzando le NURBS è possibile creare e ricostruire oggetti 3D, anche di forme particolari. L'interfaccia è molto semplice ed intuitiva ed è in grado di elaborare con grande velocità superfici complesse.

2.5. RIEGL LSM Z390i

Il RIEGL LMS Z-390i (Fig. 2.5.1) è il laser scanner a Tempo di Volo utilizzato per il rilievo del Nissan Terrano.

Questo strumento ha un range di misura che arriva fino a 1.500 metri con un'accuratezza sul centimetro. È un laser di tipo ibrido poiché ha un campo visivo di 360 gradi orizzontali e dai 40 agli 80 verticali. (Fig. 2.5.2)

Questo apparecchio emette degli impulsi infrarossi sui 1.540 nm che vengono collimati grazie ad una lente di focalizzazione posta nel sistema di trasmissione.

Il laser, muovendosi ad intervalli regolari, crea sulla superficie dell'oggetto da scansionare una sorta di griglia che viene poi acquisita dal software sotto forma di nube di punti.

Per la fase di acquisizione il laser è dotato di target specifici (piani, cilindrici e sferici) che sono riconoscibili direttamente dal software Riscan Pro.

Questo laser appartiene alla Classe 1 di sicurezza ed è quindi innocuo sia per la vista che per la cute. Ha una portata minima di 1 metro e quella massima è di 1.000. È in grado di rilevare fino a 12.000 punti al secondo.

Il sistema offre la possibilità di installare in cima al laser una camera digitale a colori, che appositamente collegata all'apparecchio, fotografa l'ambiente scansionato restituendo così una nube di punti colorata a conclusione del ciclo di misurazione.



Fig.2.5.1 _ Laser scanner Riegl LSM Z390i

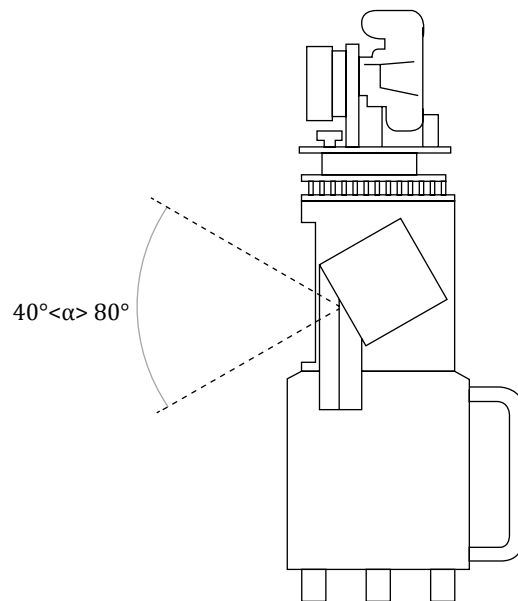


Fig.2.5.2 _ Campo visivo del laser scanner Riegl LSM Z390i

Conclusa questa prima parte teorica sui laser scanner, nel prossimo capitolo saranno esposte le fasi attraverso cui è stato possibile rilevare e ricostruire la vettura, utilizzando il laser appena esposto.

CAPITOLO 3

*L'acquisizione tridimensionale come strumento
di progettazione del sistema mobile*

È necessario seguire un iter progettuale sistematico per raggiungere risultati apprezzabili.

Come anticipato nella parte introduttiva di questo elaborato, il Reverse Modeling è una tecnica di rilevazione che ribalta il processo classico. Si parte dal modello reale per estrapolare un modello tridimensionale.

Nel secondo capitolo sono state esposte alcune di queste tecnologie fini all'acquisizione 3D di oggetti, e ci si è concentrati nel dettaglio sulla rilevazione tramite sistemi laser scanner terrestri.

Quello che verrà trattato nelle pagine seguenti saranno i passaggi necessari per l'ottenimento di un modello tridimensionale partendo dalla scansione di un oggetto reale.

Questo non è certamente un iter standard. Ogni tecnologia di scansione ed ogni tipologia di strumento ha delle differenze che possono o meno necessitare di più passaggi o altre tipologie di elaborazione, per raggiungere buoni risultati.

È possibile comunque identificare delle linee guida che siano comuni a tutti gli strumenti laser scanner e siano soprattutto rappresentative di quello che è stato il percorso di acquisizione della vettura Nissan Terrano.

Per prima cosa è possibile suddividere questo iter in tre fasi principali: l'acquisizione, l'elaborazione e la resa.

Nella fase di acquisizione possiamo rintracciare i primi due steps: il progetto di presa e l'acquisizione del dato. Nel progetto di presa vengono considerati tutti gli aspetti pratici utili al fine della scansione. Con l'acquisizione viene scansionato l'oggetto reale e registrato direttamente in un software dedicato.

Nella fase di elaborazione, o post-processo, possiamo definire quattro steps: il filtraggio, l'allineamento delle scansioni, la triangolazione e l'editing.

Con il filtraggio viene alleggerita la densità delle nubi di punti acquisite per rendere le operazioni successive più veloci ed accurate e vengono eli-

minati i punti non appartenenti all'oggetto, che potrebbero creare rumore e ridondanze nella fase di allineamento.

Nell'allineamento vengono unite le scansioni, che sono poi registrate in un'unica nube di punti. Una volta triangolata (creazione di mesh a partire dai punti), si passa all'ultima fase di editing che consiste nella chiusura dei buchi e nella correzione di errori topologici. Concluso questo processo è possibile rilevare in modo preciso informazioni di tipo geometrico.

Nell'ultima fase di resa possiamo identificare l'ottimizzazione del modello che comprende un'ulteriore decimazione della mesh (se necessario), la testurizzazione e la successiva renderizzazione. In questo step, il modello viene migliorato in base alle caratteristiche e alle esigenze utili per il fine dell'acquisizione tridimensionale.

(Fig. 3.1)

Nei prossimi paragrafi verranno dunque trattate nello specifico queste fasi e sarà integrata ad ognuna di esse la narrazione del processo di acquisizione del Terrano.

Come anticipato nel secondo capitolo – paragrafo 2.5 – il laser utilizzato per la scansione è il Riegl LSM Z390i ed i software impiegati – paragrafo 2.4.6 – sono Riscan, Rapidform, Polyworks e Rhinoceros.

Utile è sottolineare nuovamente l'importanza dei software poiché tutta la fase di acquisizione e post-processo è completamente digitalizzata e necessita quindi di interfacce versatili e semplici per poter eseguire le fasi di elaborazione nel migliore dei modi.

Sebbene il processo di elaborazione tramite laser scanner sia semi-automatico, è richiesta una notevole interazione da parte dell'operatore, che deve saper gestire le problematiche relative alla ricostruzione tridimensionale dell'oggetto. Molte volte infatti diventa necessario svolgere determinate operazioni in modo manuale per poter arrivare ad informazioni e dati più accurati.

Parole chiave:

Acquisizione 3D, elaborazione, post-processing, allineamento, modello poligonale, testurizzazione, rendering

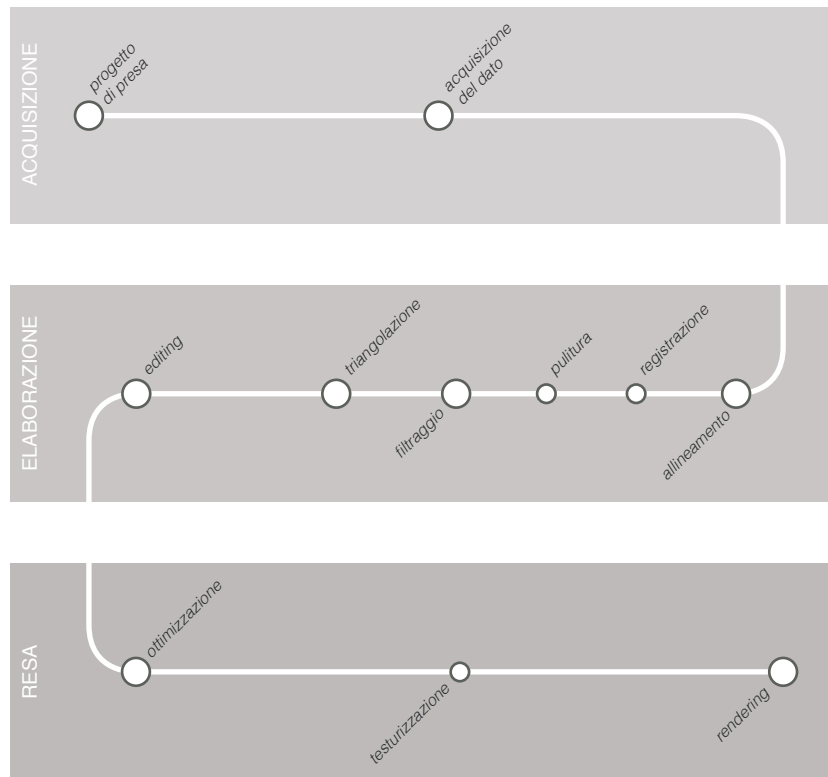


Fig.3.1 _ Schema delle fasi operative dall'acquisizione del dato al modello tridimensionale



Fig.3.1.1 _ Nissan Terrano posizionato nel luogo della scansione

3.1. Il progetto di presa

Il progetto di presa è il punto di partenza fondamentale per un'acquisizione tridimensionale. Possiamo definirlo come il momento di riflessione ed organizzazione della campagna per la scansione di un oggetto o scenario.

Questo è un passaggio cruciale del progetto ed è connesso a tutte le altre fasi di elaborazione successive. Decisioni sbagliate, prese in questo step rappresenterebbero gravi problematiche in corso di post-processo; e se ciò accadesse potrebbe risultare necessario svolgere un'altra rilevazione, con ritardi nelle tempistiche e costi aggiuntivi considerevoli.

Una corretta pianificazione del processo progettuale rappresenta il miglior modo per gestire un'acquisizione tridimensionale di un oggetto. Come abbiamo visto, le fasi di elaborazione che portano dall'acquisizione dei dati alla creazione di un modello, sono molte e tutte connesse tra di loro. Se sono presenti delle lacune in una fase, esse potrebbero creare problemi a catena, portando ad un risultato finale approssimativo.

È necessario perciò ragionare in previsione di tutto il progetto, tenendo in considerazione alcuni aspetti fondamentali, legati all'oggetto, al laser e all'ambiente nel quale si effettua la scansione.

In primo luogo bisogna considerare l'oggetto da scansionare. Studiare le sue dimensioni, la sua forma, le componenti, i materiali, è fondamentale per pianificare una scansione ben fatta. Primo perché in questo modo si ha idea di che tecnologia di rilevazione utilizzare; secondo per capire questioni di tipo pratico, come ad esempio la modalità di trasporto, quali accorgimenti bisogna avere perché la scansione sia il più possibile dettagliata, ecc.

Prendendo i punti sopra citati è d'obbligo esporre più nel dettaglio le motivazioni della loro importanza.

Utile è certamente sapere le dimensioni dell'oggetto in modo da pianificare come scansionarlo. A parità di strumento infatti, oggetti con misure considerevoli richiedono certamente più scansioni rispetto a quelli di dimensione minore, per poter avere delle informazioni complete da tutti i punti di vista dell'oggetto.

Nel caso di più scansioni è anche necessario che esse abbiano una zona di sovrapposizione minima utile in fase di allineamento.

Connessa con il numero delle scansioni ed il posizionamento del laser all'interno della scena, è la geometria dell'oggetto (e di riflesso le sue

componenti). Infatti per oggetti molto complessi c'è la possibilità che il raggio riflesso non riesca a raggiungere il sensore, creando così un buco d'informazione. Questa mancanza di dati può nascere anche in presenza di elementi esterni che, intercettando il laser prima che raggiunga l'oggetto, danno vita a zone d'ombra.

Sempre in riferimento al raggio laser ed ai suoi limiti di rilevazione, il materiale dell'oggetto risulta determinante nella pianificazione. Superfici scure lucide, con altro grado di riflettenza o rifrangenza, riflettono debolmente il raggio laser, che non sarà in grado di restituire al sistema informazioni sufficienti poiché la luce viene principalmente assorbita. Con i materiali riflettenti c'è anche il rischio che l'angolo del raggio di ritorno sia differente da quello necessario affinché la camera lo rilevi: in questi casi non viene restituito nessuna tipologia di dato. Accorgimenti per colmare questi difetti possono essere la colorazione alternativa delle superfici oppure la coperture con materiali facilmente rilevabili.

In base quindi all'oggetto da scansionare è possibile scegliere in modo più coerente il laser da utilizzare. Selezionato dunque l'apparecchio si aprono altri punti da organizzare.

Sicuramente importante è capire come trasportare il laser dal laboratorio al luogo dove sarà effettuata la scansione e quindi ragionare sulle problematiche di alimentazione degli strumenti e sulla sicurezza.

Dopodiché bisognerà individuare la distanza più corretta da cui effettuare le scansioni in base al livello di dettaglio che si vuole raggiungere. Pianificare i punti di vista per la rilevazione di un oggetto rappresenta un punto fondamentale; ma esso va connesso in modo stretto al campo visivo e all'angolo di vista dell'apparecchio. Specialmente l'angolo di vista diventa elemento fondamentale poiché se l'angolo di incidenza è troppo elevato si rischia che il segnale di ritorno sia scorretto oppure non venga addirittura effettuata la scansione.

Importante in questa fase è anche scegliere dove posizionare lo strumento: potrebbe essere necessario doverlo porre in postazioni pericolose o instabili. È dunque necessario trovare dei supporti alternativi per poter svolgere la rilevazione con maggior sicurezza e stabilità possibile.

In terzo luogo sono da considerare le caratteristiche dell'ambiente in cui sarà effettuata la campagna di scansione. Rilevante sarà quindi fare un primo sopralluogo per capire dove posizionarsi con gli strumenti. Poi sarà necessario capire la presenza o meno di ostacoli che potrebbero creare problemi nella rilevazione. Infine è fondamentale tener presente tutte le condizioni ambientali legate alla temperatura, umidità, illuminazione, ecc, per essere preparati alle esigenze che lo spazio richiede.

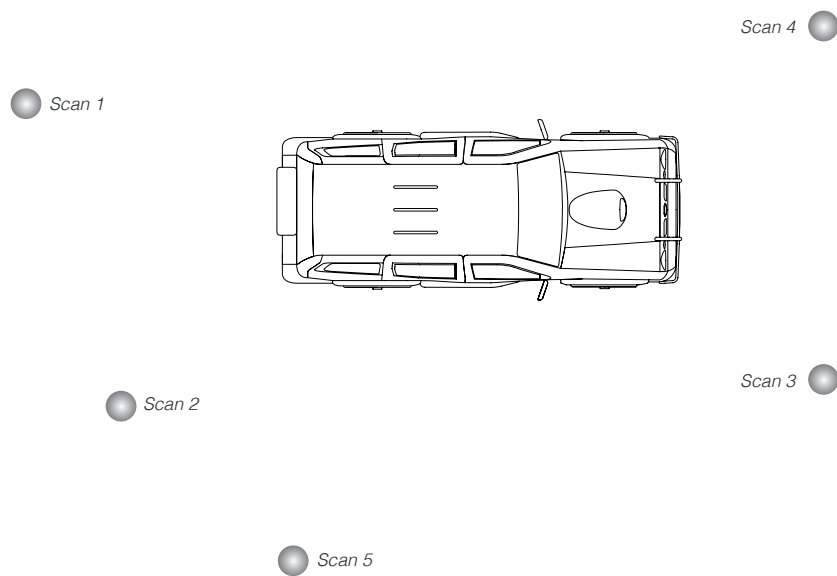


Fig.3.1.2_ Schema posizionamento del laser per le scansioni esterne

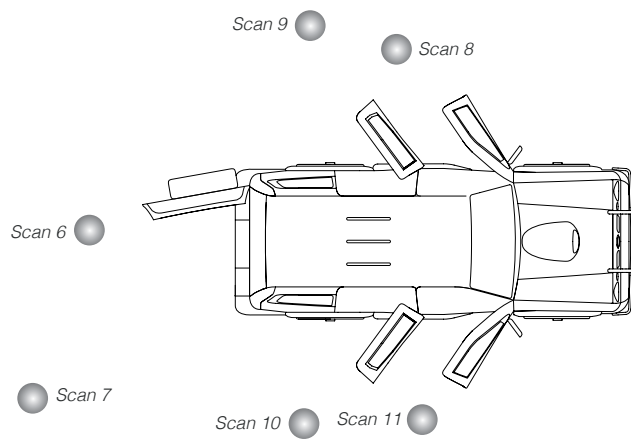


Fig.3.1.3_ Schema posizionamento del laser per le scansioni interne



Fig.3.1.4 _ Alcuni dei target utilizzati per il rilievo della vettura



Fig.3.1.5 _ Dime in cartone posizionate sui vetri per evitare effetti indesiderati in fase di acquisizione

Per quanto riguarda la pianificazione delle scansioni dai vari punti di vista è opportuno soffermarsi sulla possibilità di utilizzare dei target. I target sono elementi riflettenti, specifici per i vari laser, e possono essere un valido aiuto per l'allineamento delle nuvole di punti acquisite. Questi elementi vengono posizionati all'interno della scena, adeguatamente disposti in modo che per ogni scansione ci siano almeno tre riferimenti nella scena (anche se è preferibile usarne di più), per poter essere così riconosciuti in modo automatico dal laser fornendo dati per l'orientamento automatico o semi-automatico tra le scansioni.

Naturalmente gli elementi fin'ora esposti sono connessi ad una domanda fondamentale: qual è lo scopo dell'acquisizione? A questa domanda ruota tutta questa prima fase poiché è necessario definire quale sia il livello di dettaglio ed accuratezza necessari ai fini della rilevazione.

Partendo dai presupposti appena esposti, sarà esposto di seguito il progetto di presa del Nissan Terrano.

Essendo l'oggetto un'automobile, è stato possibile posizionarla vicino all'edificio dell'Università, in modo da sfruttare l'alimentazione delle prese di corrente al suo interno.

La macchina è stata quindi posta su di un vialetto cementato inclinato (circondato da spiazzi d'erba, che in parte hanno inciso sul posizionamento dello strumento), vicino ad una scala di emergenza, per poterla sfruttare per rilevazioni dall'alto. (Fig. 3.1.1)

Essendo il Terrano una vettura di dimensioni considerevoli e necessitando di scansionare anche la parte interna, sono state pianificate un totale di undici scansioni.

Per quanto riguarda la parte esterna sono state effettuate quattro scansioni in prossimità degli angoli a distanze alternate di 2 e 3 metri. La quinta scansione è stata effettuata dall'alto per rilevare il tettuccio non raggiungibile dai punti di vista laterali. (Fig. 3.1.2)

Per la parte interna sono state effettuate quattro scansioni in prossimità delle quattro portiere laterali ad un metro di distanza dalla vettura, e due incrociate del bagagliaio alla medesima distanza. (Fig. 3.1.3)

All'interno della scena sono stati utilizzati target circolari di due dimensioni e cilindrici forniti dai produttori del laser Riegl LSM Z390i. (Fig. 3.1.4)

In riferimento con quanto detto prima sulle possibili problematiche dei

materiali da rilevare, è stato necessario porre una copertura sui vetri della macchina poiché il raggio laser, colpendo il vetro, non avrebbe avuto sufficiente intensità per tornare al laser e si sarebbero potuti perdere dati preziosi. Sono state quindi create delle dime in cartone dello stesso profilo dei vetri e poi attaccate sopra con adesivo. (Fig. 3.1.5)

Conclusa questa prima fase di pianificazione si è passato quindi all'acquisizione vera e propria delle nuvole di punti tramite laser scanner.

3.2. L'acquisizione del dato

Una volta allestito il luogo della scansione e posizionato l'oggetto nel luogo più adatto per la rilevazione, avviene la vera e propria fase di acquisizione dei dati tridimensionali.

Come detto nel capitolo secondo il risultato di questa fase è una nube di punti georiferita. L'acquisizione è un insieme di operazioni che si svolge prevalentemente su di un computer (a parte lo spostamento manuale dell'apparecchio per scansionare l'oggetto dagli altri punti di vista).

Attraverso il software dedicato, installato sul computer connesso al laser, vengono impostati i parametri di scansione e viene quindi azionata. La maggior parte di questi softwares ha la possibilità di controllare le operazioni in tempo reale grazie ad un'anteprima.

La scansione assomiglia molto ad uno scatto fotografico, ma il tempo è decisamente superiore: può andare dai pochi secondi a decine di minuti, in relazione alla risoluzione che si imposta.

Essendo il tempo di acquisizione così lungo, il laser deve essere montato su di un cavalletto stabile in modo che non risenta, durante il processo di rilevazione, di alcuna vibrazione che possa compromettere la qualità della scansione.

Attraverso il software è possibile anche impostare il riconoscimento automatico dei target all'interno della scena per facilitare la successiva fase di allineamento delle scansioni.

Alcuni strumenti, soprattutto i laser a Tempo di Volo, hanno la predisposizione a connettere una camera, che calibrata con lo strumento, rende automatica l'acquisizione fotografica della scena scansionata, dando così la possibilità di visualizzare una nube di punti con la texture proiettata.

Come detto nel paragrafo precedente, sono state effettuate undici scansioni del Terrano nell'arco di tempo di una giornata e mezzo.

Attraverso il software Riscan Pro sono stati impostati i valori di risoluzione delle differenti scansioni in base ai dettagli utili per ogni punto di vista. Prima di far partire l'acquisizione, è stata connessa una camera Nikon D200 sul laser Riegl (Fig. 3.2.1), che opportunamente calibrata, ha dato la possibilità di avere delle nuvole di punti colorate ed immagini ad essa riferite, poiché scattate durante la scansione dell'oggetto. (Fig. 3.2.2)

Utilizzando anche la procedura di calibrazione automatica, sono stati impostati i target da rilevare nell'ambiente in modo che fossero scansionati nel dettaglio quando il laser ci fosse arrivato.

La durata per ogni scansione è stata di circa 25 minuti.

Prima di far azionare la vera e propria scansione, è stata fatta un'anteprima sulla quale è stata selezionata solamente la parte utile ai fini della rilevazione. (Fig. 3.2.3)

Di seguito sono riportati i dettagli delle undici scansioni, con la risoluzione impostata e il numero di punti.

5 scansioni esterne:

- scansione 1 – risoluzione: 0.006° - numero di punti: 16.015.379
- scansione 2 – risoluzione: 0.019° - numero di punti: 3.362.991
- scansione 3 – risoluzione: 0.007° - numero di punti: 10.657.864
- scansione 4 – risoluzione: 0.014° - numero di punti: 3.014.971
- scansione 5 – risoluzione: 0.032° - numero di punti: 1.053.430

6 scansioni interne:

- scansione 6 – risoluzione: 0.029° - numero di punti: 3.090.464
- scansione 7 – risoluzione: 0.017° - numero di punti: 8.326.620
- scansione 8 – risoluzione: 0.059° - numero di punti: 5.175.261
- scansione 9 – risoluzione: 0.035° - numero di punti: 5.227.584
- scansione 10 – risoluzione: 0.035° - numero di punti: 5.044.104
- scansione 11 – risoluzione: 0.066° - numero di punti: 1.139.103

Per ognuno di questi punti il software è in grado di calcolare le coordinate tridimensionali (x,y,z) e fornire già dettagli a livello di misurazione.

È chiaro come la quantità di punti rilevati sia veramente considerevole, ma è stata necessaria per non perdere dettagli importanti dell'automobile. In ogni caso densità così consistenti portano ad una notevole ridondanza di informazioni, che aggiunta ai fattori ambientali, ha portato alla creazione di rumore all'interno delle scansioni.



Fig.3.2.1 _ Dettaglio camera Nikon D200 montata sul Riegl LSM Z930i

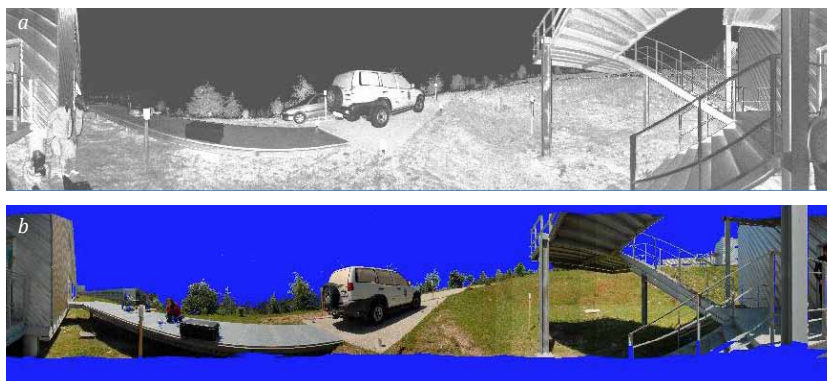


Fig.3.2.2 _ Anteprima panoramica della scansione in bianco e nero (a) e a colori (b)



Fig.3.2.3 _ Anteprima a colori della zona selezionata per la scansione

Il sole troppo intenso delle due giornate ha creato interferenza nel raggio laser che non è riuscito, nel migliore dei modi, a rilevare tutte le informazioni.

In aggiunta, essendo la campagna durata due giorni, i target potrebbero essersi anche di poco spostati durante la notte e questo può aver portato un errore aggiuntivo nei dati in fase di allineamento.

Il rischio di avere una quantità di punti così elevata è quello di provocare rallentamenti in fase di elaborazione. È per questo necessaria, prima di avviare il vero e proprio post-processo, filtrare la nube di punti ed accelerare in questo modo le operazioni su computer.

3.3. L'allineamento e la registrazione

Per poter lavorare su di un modello tridimensionale completo è necessario che le scansioni ottenute, in fase di acquisizione, siano allineate rispetto ad un unico sistema di riferimento.

La fase di allineamento è uno step fondamentale per tutto il progetto, poiché vincola i livelli di precisione ed accuratezza che si otterranno nel modello finale.

Questa è un'operazione semi-automatica, in cui il lavoro dell'operatore risulta necessario. I softwares in commercio utilizzano per l'allineamento specifici algoritmi che hanno l'obiettivo di minimizzare la distanza tra le scansioni.

L'algoritmo più utilizzato, e il più sperimentato fino ad oggi, è l'ICP – Iterative Closest Point – sviluppato da Besl e McKay nel 1992.

In sostanza questo algoritmo applica su una delle nuvole di punti considerata mobile, una roto-traslazione iterativa nello spazio tridimensionale, sovrapponendola ad una considerata fissa, in modo da minimizzare il loro scarto quadratico medio.

Questo metodo viene chiamato punto-punto e l'operazione avviene tramite la ricerca del minimo di una funzione obiettivo, proporzionale alla distanza media tra le prese. Questa funzione risulta quindi dalla somma dei quadrati dei punti corrispondenti delle nuvole. Ed «i punti corrispondenti si definiscono come la coppia formata da un punto di una nuvola e quello più vicino appartenente alla nuvola opposta». [da Tecniche digitali per il

rilievo, la modellazione tridimensionale e la rappresentazione nel campo dei beni culturali di V.A. Girelli]

Per ogni punto della nuvola mobile, vengono ricercati all'interno di quella fissa, dei punti che sono contenuti all'interno di una sfera di un certo raggio. Tra questi punti viene tenuto quello più vicino, che verrà definito come punto corrispondente.

Questa operazione può avvenire manualmente da parte dell'operatore, che sceglierà autonomamente un minimo di tre punti in comune tra la scansione fissa e quella mobile. L'importante è che ci sia sempre una zona di sovrapposizione tra le due scansioni, che corrisponda all'incirca al 40%. Questi punti possono essere rintracciati più facilmente su superfici complesse con molti spigoli e discontinuità. Su superfici invece lisce, vengono utilizzate le immagini RGB, acquisite (dipende dallo strumento) durante il processo di rilevazione, per trovare particolari cromatici utilizzabili.

La fase di allineamento può anche essere completamente automatica tramite l'utilizzo dei target che orientano automaticamente le scansioni in base alla loro disposizione spaziale. Come detto prima, è necessario che ci siano almeno tre target in comune tra le scansioni, per avere un buon grado di sovrapposizione.

Naturalmente il sistema manuale e quello automatico possono essere integrati l'uno all'altro per raggiungere un miglior grado di accuratezza.

Altra possibilità di allineamento è quella tramite forme complesse, che richiede però tempistiche più lunghe e maggior sforzo da parte dell'operatore. In questo caso la nuvola di punti viene segmentata (suddivisa in porzioni) e le varie parti vengono modellate separatamente ed unite solo nella fase finale.

Per quanto riguarda l'allineamento delle scansioni del Terrano, è stato necessario svolgere un'azione preliminare prima di questa fase.

Essendo presenti all'interno delle scansioni numerose informazioni non utili al fine della modellazione, è stata effettuata un'operazione di pulizia dei dati, in modo che non fossero presenti punti che avrebbero creato rumore nel modello.

Una volta conclusa questa fase si è passati all'allineamento vero e proprio delle scansioni. È stata scelta una prima scansione (quella con maggiori informazioni utili) ed è stata bloccata, in modo tale che la seconda, mobile, fosse allineata ad essa. Si è proceduto così fino al termine delle scansioni. (Fig. 3.3.1)

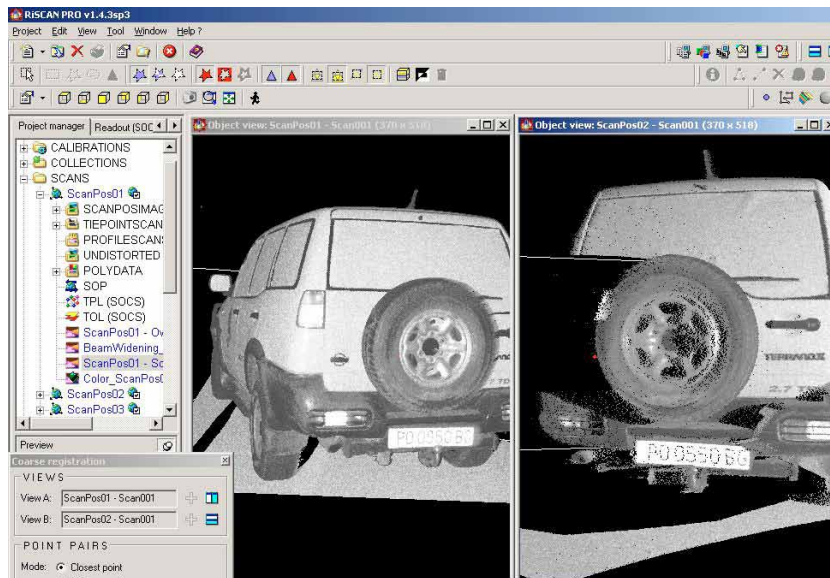


Fig.3.3.1 _ Visualizzazione per l'allineamento delle scansioni

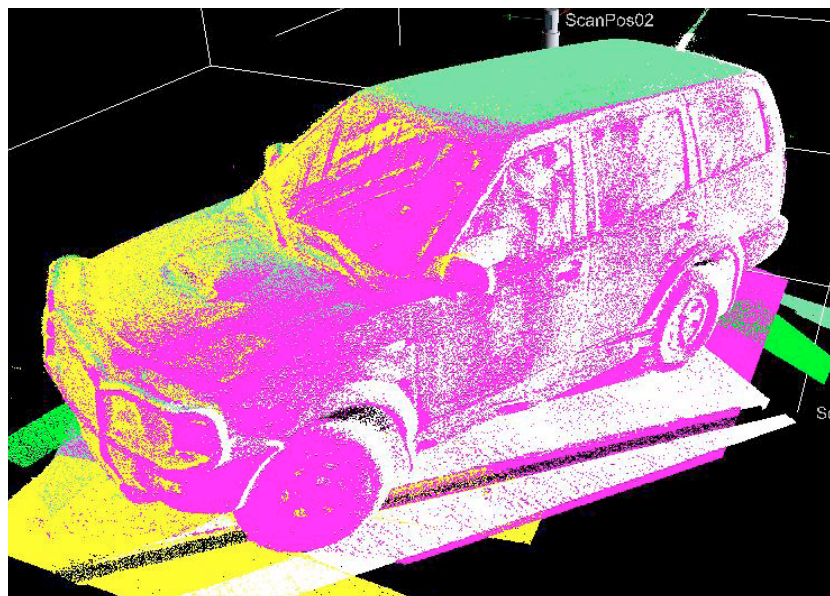


Fig.3.3.2 _ Scansioni esterne allineate (ogni scansione è rappresentata con un colore differente)



Fig.3.3.3 _ Scansioni interne allineate (ogni scansione è rappresentata con un colore differente)

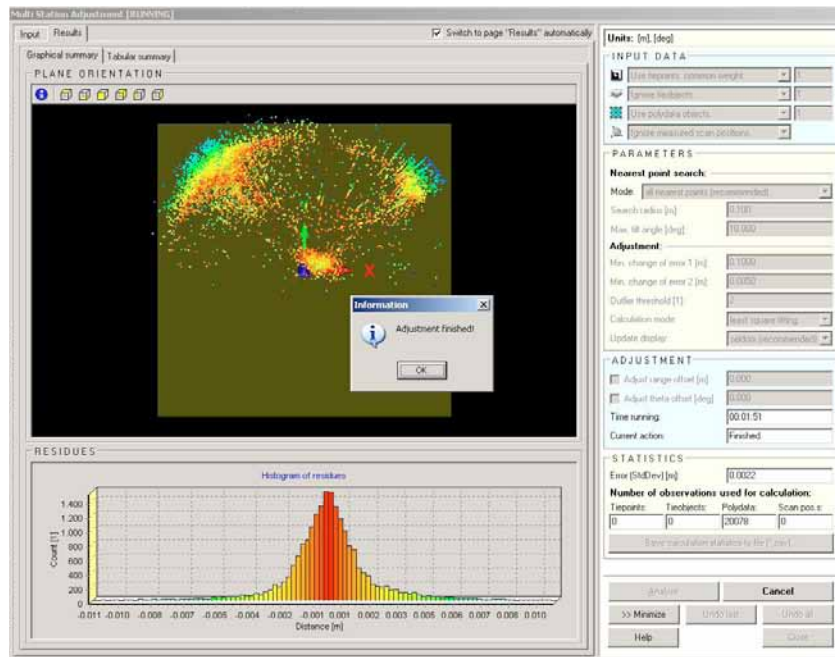


Fig.3.3.4 _ Risultato del Multi Station Adjustment sulle scansioni esterne

Le scansioni esterne non sono state però allineate con quelle interne, poiché mancavano sufficienti informazioni in comune, ed il rumore di quelle interne avrebbe provocato troppa poca accuratezza nel modello globale. Sono state quindi trattate separatamente fino alla ricostruzione globale del modello 3D. (Fig. 3.3.2 e 3.3.3)

La fase di allineamento si avvale anche di un'altra funzione fondamentale all'interno del software preposto a questa operazione: il Multi Station Adjustment. Attraverso questa funzione è possibile minimizzare al massimo la distanza tra le scansioni, andando a completare il procedimento di roto-traslazione effettuato dall'algoritmo ICP. Il risultato di questa operazione sul software Riscan Pro è un istogramma dei punti residui. Più la curva risultante è di tipo gaussiano, più la distanza è stata minimizzata. (Fig. 3.3.4) Se invece la curva è discontinua sarà necessario rintracciare altri punti ed azionare nuovamente questa funzione.

Conclusa la fase di allineamento, le varie scansioni sono state registrate. In altri termini le scansioni vengono fuse tra di loro creando un'unica nuvola di punti georiferita.

Nel caso del Terrano, i risultati di questa operazione sono state due nuvole di punti, una per l'esterno e un'altra per l'interno. Questa è un'operazione che avviene in modo automatico all'interno del software ed è regolata da algoritmi complessi, che permettono la conservazione delle caratteristiche geometriche di ciascun punto.

3.4. La pulitura ed il filtraggio

In base alle caratteristiche della scansione, il processo di pulitura (data cleaning) può essere svolto anche precedentemente rispetto alla fase di registrazione. Se infatti la quantità di punti è troppo elevata e crea una ridondanza consistente in fase di allineamento, è corretto svolgere questa fase e quella di filtraggio prima, per avere un'accuratezza maggiore.

In sostanza la pulitura consiste nell'eliminare tutti i punti della scansione che forniscono informazioni non utili e che potrebbero provocare un eccessivo rumore all'interno del progetto.

Una volta conclusa questa fase di pulitura, vengono applicati sulla nube di punti registrata (o sulle singole scansioni) dei filtri, che operano in modo semi-automatico sul modello.

Quando si filtra una nube di punti, si vanno a modificare in modo diretto le caratteristiche di ogni punto. In sostanza si va ad alleggerire la densità della nube in modo tale che sia pronta per la successiva fase di triangolazione.

La fase di filtraggio è un punto decisamente delicato poiché le informazioni che vengono eliminate, non possono più essere in alcun modo recuperate (se naturalmente non si ha un backup delle scansioni iniziali). È per questa ragione che, sebbene esistano all'interno dei softwares dei parametri di filtraggio (algoritmi di filtraggio) predefiniti, l'operatore deve impostare il filtro da utilizzare ed i suoi valori in base alle caratteristiche dell'oggetto e dello scopo per cui è stata effettuata la scansione.

Nel caso del Terrano, una prima pulitura e filtraggio – come prima anticipato – sono stati effettuati prima della fase di registrazione poiché la quantità di informazioni non utili ed il numero dei punti erano troppo elevati per poter gestire l'operazione nel migliore dei modi e in tempi contenuti.

Sono stati eliminati alcuni elementi della scena come alberi, erba ed edifici in lontananza. Sono stati tenuti solamente la vettura ed il vialetto, su cui era parcheggiata, in modo tale che la fase di orientamento fosse semplificata e si avesse già un piano orizzontale utilizzabile.

La fase di filtraggio è stata, come detto prima, molto delicata. E vista la densità dei punti, sono stati applicati alcuni filtri numerose volte. Attraverso il software Riscan Pro è stato utilizzato in particolare il filtro Octree. Questo filtro si basa su una struttura a cubo che si divide in otto cubi uguali e che continuano a dividersi a loro volta in altri cubi (in base ai parametri che vengono impostati).

A fine del filtraggio, ogni cubo contiene un punto che è sostanzialmente il centro di gravità di tutti i punti che conteneva ogni cubo. Ed è in sostanza quello che rimane nel modello.

Conclusa la procedura di filtraggio, la nube esterna conteneva un numero di punti pari a 18.054.316 e quella interna a 16.001.568.

Una volta che il modello è stato adeguatamente filtrato si può passare alla successiva fase di triangolazione.

3.5. La triangolazione

Creare un modello triangolato, significa convertire la nuvola di punti in superfici (mesh) composte da triangoli. La triangolazione fornisce una visualizzazione certamente più intuitiva rispetto ai punti iniziali e grazie ad essa risulta più semplice modificare e completare il modello finale.

Questa operazione viene anche chiamata meshing.

In sostanza, partendo dalla nuvola di punti, si crea un reticolo di poligoni uniti tra di loro, i cui vertici sono i punti della nube. Importante prima di questa fase è considerare la geometria della nuvola di punti, cioè se trattiamo con una nube di punti strutturata o non strutturata.

Una nube strutturata, tipica dei sistemi laser a triangolazione, è formata da punti inseriti su di una griglia bidimensionale in un ordine logico. La triangolazione in questo caso risulta semplice ed ordinata e non dà problemi grossi in fase di editing. (Fig. 3.5.1)

Una nube non strutturata, tipica dei sistemi a Tempo di Volo, è invece formata da punti non organizzati nello spazio tridimensionale. Non hanno una logica precisa poiché seguono il movimento del raggio laser che li ha generati. In questo caso la triangolazione risulta più complicata e macchinosa. E per questa fase è necessario utilizzare l'algoritmo di Delauny. (Fig. 3.5.2)

Questa funzione permette di effettuare la triangolazione della nuvola proiettando i punti su di un piano. Una volta posti sul medesimo piano, vengono identificati i punti a distanza minima, utilizzando dei cerchi circoscriventi che li collegano tra di loro. Se sono presenti tre punti all'interno di un cerchio, la triangolazione viene effettuata tra di loro; se ci sono più di tre punti nello stesso cerchio, l'algoritmo continua a calcolare triangoli nella suddetta modalità. (Fig. 3.5.3) Una volta conclusa questa operazione, i triangoli vengono ri-proiettati nello spazio, nella posizione di partenza dei punti.

Terminato il processo di meshing, risulta importante effettuare un'altra operazione: la semplificazione, o decimazione. In questa fase viene sfoltito il numero dei poligoni della mesh attraverso degli algoritmi complessi che uniscono tra di loro triangoli adiacenti. È un'operazione che richiede molta attenzione da parte dell'operatore che dovrà valutare i dettagli che necessita sul modello e a quale livello potrà svolgere la semplificazione.

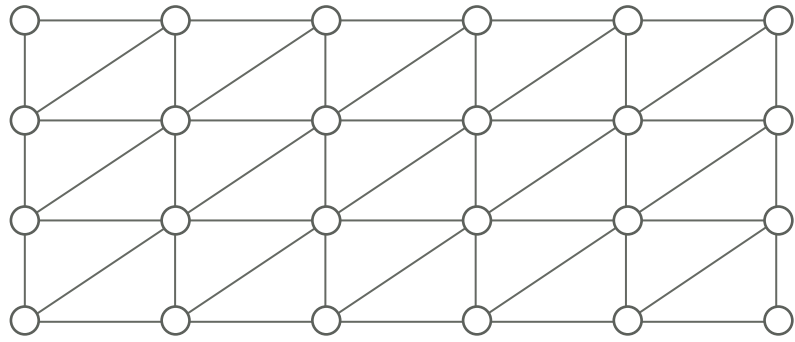


Fig.3.5.1 _ Rappresentazione di una nube di punti strutturata

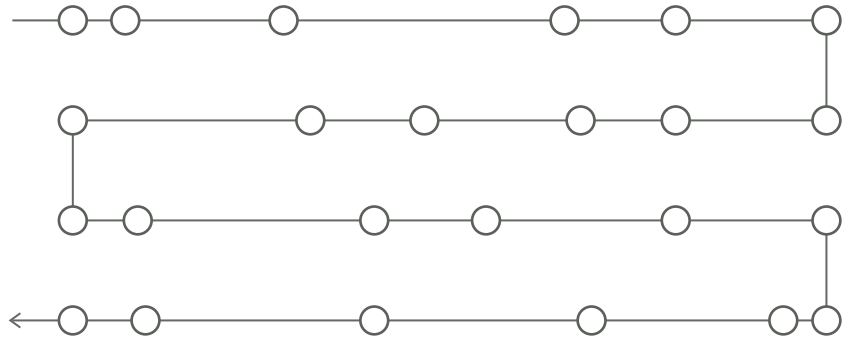


Fig.3.5.2 _ Rappresentazione di una nube di punti non-strutturata

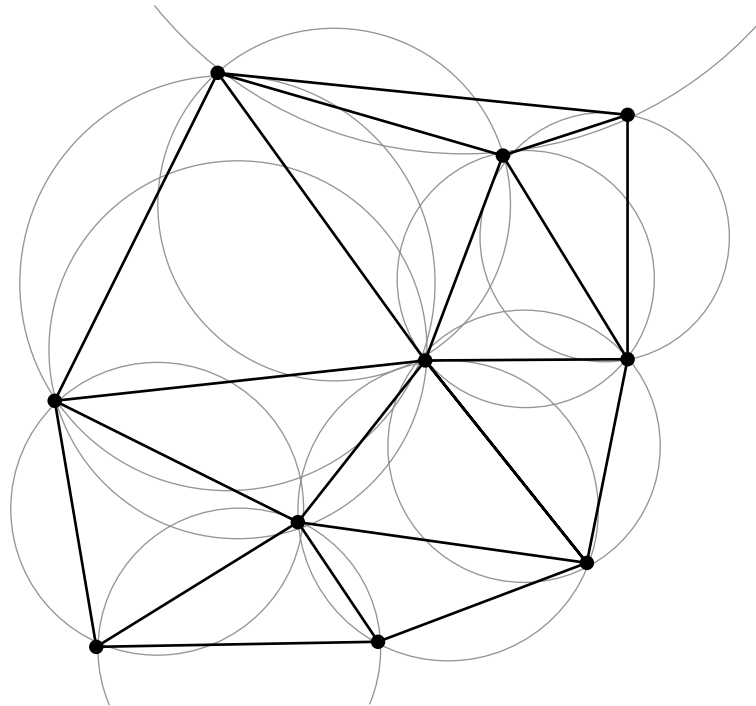


Fig.3.5.3 _ Schema di funzionamento dell'algorithmo di Delaunay



Fig.3.5.4 _ Terrano esterno al termine del processo di triangolazione



Fig.3.5.5 _ Terrano interno al termine del processo di triangolazione

Con il software Riscan Pro è necessario svolgere l'operazione di triangolazione, selezionando la zona dell'oggetto e ponendosi frontalmente ad essa, per non creare errori nella proiezione dei punti sul piano.

Essendo presenti sul Terrano numerosi dettagli da salvaguardare, la fase di meshing è stata lunga e delicata, soprattutto per le numerose superfici curve ed i numerosi componenti in rilievo sul telaio e nella parte interna. In più, il considerevole numero di punti ha dato vita ad un numero di poligoni altissimo. È stata quindi necessaria un'importante operazione di decimazione per poter lavorare in modo produttivo nella fase di editing.

Terminato dunque il processo di triangolazione (Fig. 3.5.4 e 3.5.5) e semplificazione, il modello è stato esportato nel formato stl in modo che le informazioni geometriche del modello fossero conservate per le successive operazioni negli altri software.

3.6. L'editing

Le precedenti fasi di allineamento, triangolazione e decimazione, possono creare all'interno del modello delle imperfezioni di vario genere. Ed è proprio nella fase di editing che esse vanno corrette. Possiamo distinguere tre tipologie di difetti all'interno di un modello poligonale: gli errori topologici, le lacune e la superficie rumorosa.

Gli errori topologici sono delle anomalie che nascono durante la fase di triangolazione, dovuti ad inesattezze nell'allineamento delle scansioni che provocano ridondanza di informazione (quindi di punti), e vanno ad interessare le connessioni dei poligoni costituenti la mesh.

In base al software che si utilizza, questi errori prendono nomi differenti. Per facilitare l'esplicazione, verranno presi in riferimento i nomi usati dal software Rapidform – sfruttato nel progetto del Terrano per la correzione di questi difetti.

Possiamo identificare quindi quattro tipologie di errori.

Quando dallo stesso bordo si generano più facce parliamo di Non-manifold Face.

Se da un vertice partono più vertici e bordi abbiamo le Redundant Face.

Nel caso in cui più facce si intersecano con la superficie senza essere connesse con essa, li definiamo Crossing Face.

Ultimo troviamo le Unstable Face quando due facce sono adiacenti ma le loro normali sono invertite.

Questi errori topologici sono facilmente risolvibili tramite operazioni automatiche all'interno dei software dedicati.

Le lacune, cioè buchi e discontinuità sulle superfici triangolate, sono soprattutto il risultato di un filtraggio eccessivo oppure risalgono a zone d'ombra presenti già in fase di acquisizione.

Queste lacune possono essere chiuse dall'operatore in modo manuale, utilizzando delle funzioni nei software che, calcolando l'andamento dei bordi intorno, ricostruiscono la superficie mancante.

Le superfici rumorose, quindi con imperfezioni che le rendono discontinue, possono essere risolte con l'applicazione della funzione di lisciatura. La lisciatura, oppure smoothing, è un'operazione che permette (impostando dei precisi valori) di creare una superficie omogenea riferita ad una certa raggatura – anche se non è possibile definire in modo generale la modalità con cui ogni software calcola questa azione.

Questa è un'operazione che deve essere progettata in base alla zona in cui si va ad operare. Un valore di smoothing troppo elevata potrebbe portare all'eliminazione di dettagli importanti nel modello.

Per quanto riguarda il modello del Terrano, sono state pianificate le tre operazioni appena descritte in due software paralleli. L'eliminazione degli errori topologici è stata effettuata in Rapidform poiché l'interfaccia permette l'identificazione e la cancellazione automatica in modo preciso, semplificando così il lavoro dell'operatore.

Le altre due operazioni sono state invece svolte in Polyworks.

Necessitando di un modello più interattivo e dettagliato rispetto al risultato dell'editing, è stato deciso di ricreare un nuovo modello tridimensionale, partendo da quello appena ricreato.

Sono state quindi estrapolate linee, punti e superfici (Fig. 3.6.1) dalla mesh della vettura triangolata ed editata; e sono state esportate in un altro software per poterle ricreare nel migliore dei modi.

Il software dedicato a questa operazione è stato Rhinoceros, attraverso cui sono stati ricreati tutti i dettagli particolareggiati della vettura, sia della parte esterna che interna (Fig. 3.6.2, 3.6.3, 3.6.4, 3.6.5).

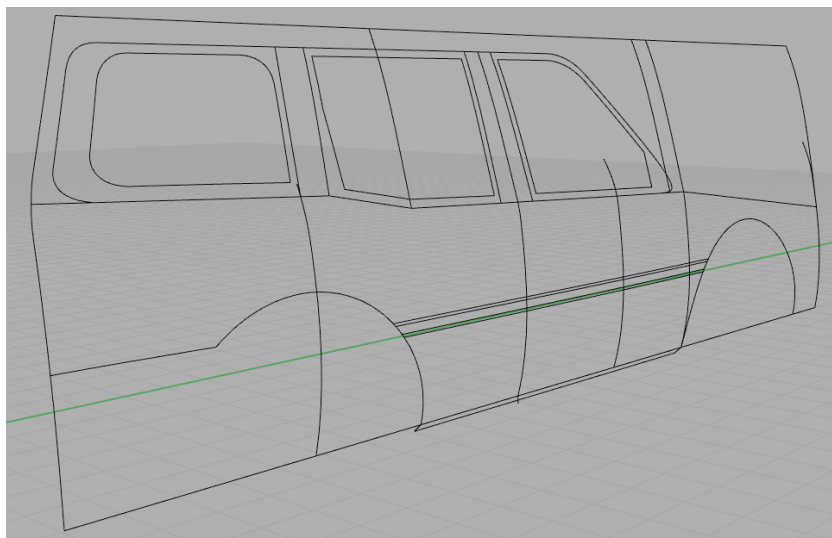


Fig.3.6.1 _ Linee di costruzione delle portiere estrapolati dopo la fase di editing in Polyworks

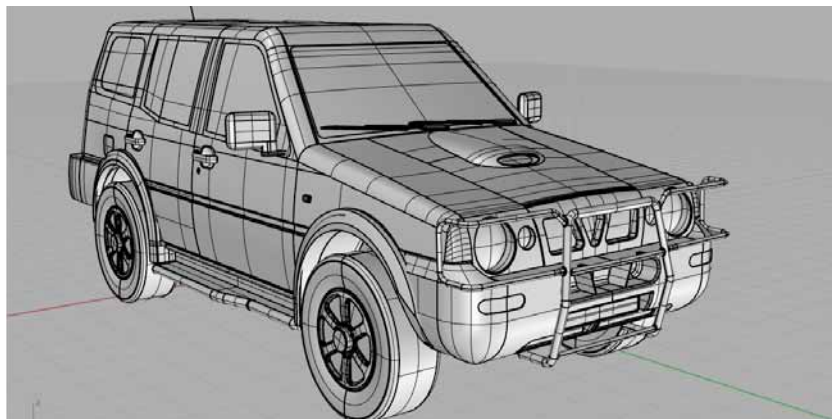


Fig.3.6.2 _ Modello tridimensionale dell'esterno frontale, ricreato in Rhinoceros

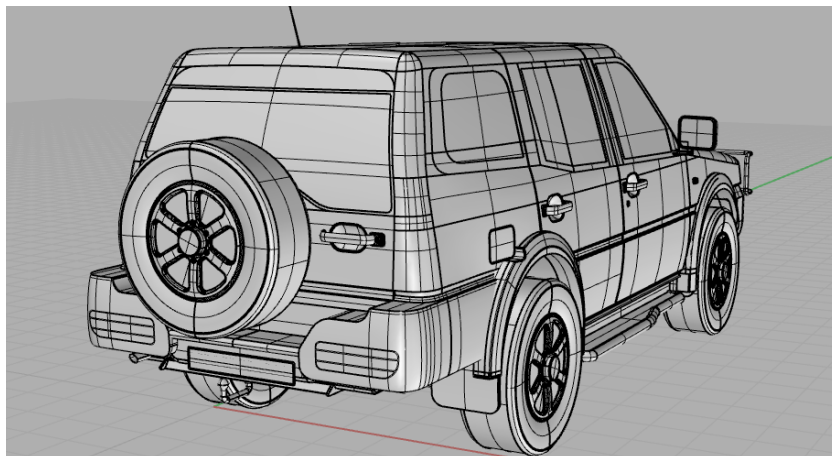


Fig.3.6.3 _ Modello tridimensionale dell'esterno posteriore, ricreato in Rhinoceros

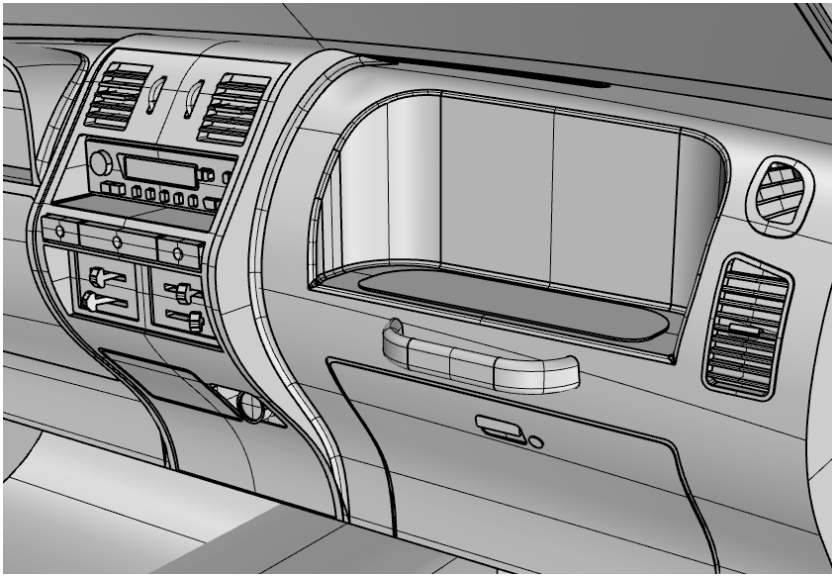


Fig.3.6.4 _ Modello tridimensionale dell'interno cruscotto, ricreato in Rhinoceros

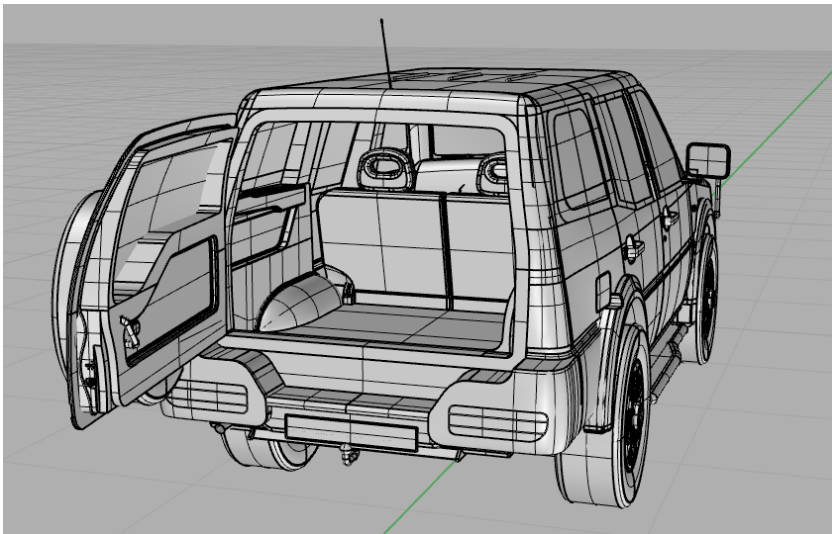


Fig.3.6.5 _ Modello tridimensionale dell'interno baule, ricreato in Rhinoceros

3.7. L'ottimizzazione del modello

Quella di ottimizzazione è una fase difficilmente definibile poiché, per ogni progetto, può essere concepita in modo differente. Infatti essa dipende soprattutto dal fine e dalle modalità con cui è stata effettuata la scansione e le successive fasi processuali.

In base all'applicazione finale si avranno quindi risultati differenti. Prendendo in riferimento il campo dei beni culturali, i prodotti dell'elaborazione dovranno essere certamente molto dettagliati, per esempio se parliamo del restauro virtuale di una statua. Se invece prendiamo in considerazione edifici oppure siti archeologici, il dettaglio richiesto sarà minore, ma dovrà essere integrato da un lavoro ben mirato sulla testurizzazione delle superfici rilevate. Ancora diverso è se prendiamo in riferimento componenti meccanici, in cui si dovrà ottenere una risoluzione molto elevata nei dettagli specifici.

In base alle esigenze del progetto del Terrano, è stata importante l'operazione di mappatura delle texture sulle superfici ricreate, per poter avere accesso ad un modello il più simile possibile al reale.

In sostanza questa azione utilizza delle immagine fotografiche da posizionare sul modello, per dare delle informazioni estetiche (ma anche tecniche quando sono rappresentative dei materiali) sull'oggetto (Fig. 3.7.1).

Terminata quindi la fase di ottimizzazione, è stato possibile acquisire un modello particolareggiato e versatile per differenti utilizzi: sia per estrapolare informazioni di tipo geometrico sia di tipo progettuale.

Sono riportati di seguito alcuni rendering (Fig. 3.7.2 e 3.7.3) che mostrano il risultato definitivo del processo di Reverse Modeling della vettura, da cui si è partiti per la progettazione dei supporti atti al corretto interfacciamento del Mobile Laser Scanner Lynx con l'utente-operatore.



Fig.3.7.1 _ Esempio di testurizzazione applicata al Terrano

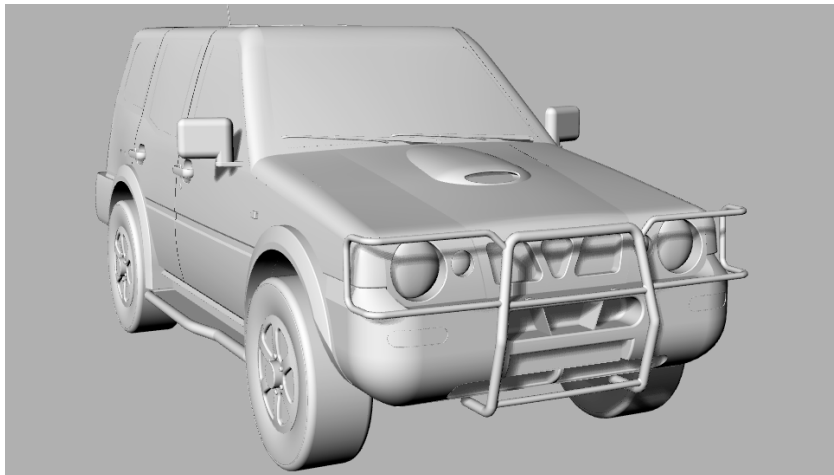


Fig.3.7.2 _ Rendering esterno

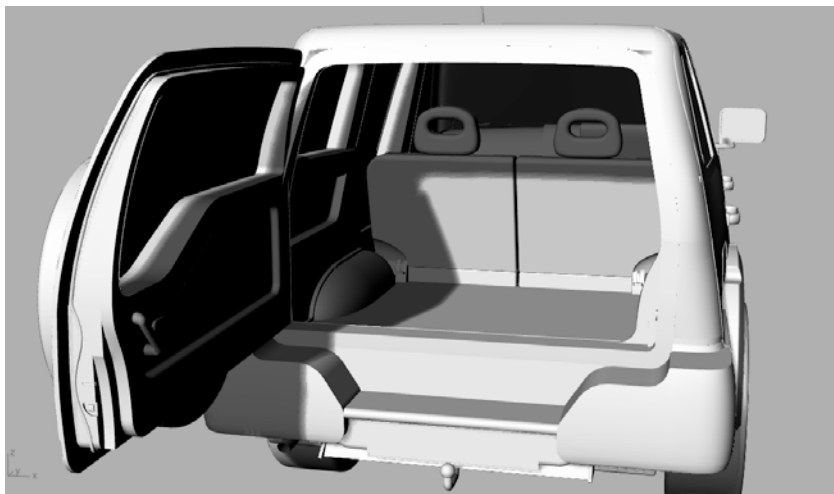


Fig.3.7.3 _ Rendering interno

3.8. Valutazioni finali

Per concludere in modo coerente il percorso dall'acquisizione del dato all'ottenimento del progetto finale, è corretto riflettere sulle tempistiche che le varie operazioni richiedono, in modo da avere un'idea più precisa sulla valenza del metodo di Reverse Modeling.

Le variabili che influiscono su questi tipi di processi sono specifiche e connesse a tre elementi fondamentali: l'esperienza, l'oggetto e lo scopo.

Quando parliamo di esperienza è opportuno precisare che le tempistiche di elaborazione dei dati sono vincolanti all'operatore. Nessun processo di Reverse Modeling è infatti completamente automatico e ciò rende necessario un importante intervento da parte di un tecnico che deve essere in grado di saper gestire tutte le fasi di acquisizione ed elaborazione connesse al modello.

Come è scontato, un operatore con esperienza impiegherà certamente meno tempo a svolgere i vari passaggi, a differenza di uno inesperto, che dovrà effettuare molte prove prima di arrivare ad un risultato soddisfacente.

La seconda variabile fondamentale è l'oggetto da scansionare. In base alla grandezza, ai dettagli e alla complessità, il tempo di acquisizione dei dati tenderà ad aumentare, insieme al post-processo che presenterà maggiori o minori problematiche, portando quindi ad un aumento proporzionale di ore di lavoro.

Ultima variabile è rappresentata dallo scopo finale della rilevazione. "Qual è lo scopo dell'acquisizione" è la domanda primaria che bisogna porsi quando ci si accosta ad un progetto – riferimento al paragrafo 3.1. Il progetto di presa.

In base alle motivazioni, infatti, sarà possibile definire a che livello di dettaglio ed accuratezza è necessario arrivare per rispondere alle esigenze che sono state espresse inizialmente.

Nel caso del modello del Terrano, ad esempio, il livello di dettaglio finale doveva essere certamente elevato, poiché importante, nell'ambito della progettazione di Design, avere dei buoni riscontri tecnici ed estetici.

Di seguito sono riportati due grafici narrativi del processo operativo svolto per l'elaborazione del Terrano. Nel primo (Fig. 3.8.1) sono indicate le ore di lavoro per ciascuna fase precedentemente descritta. Nel secondo (Fig. 3.8.2) è esplicitato il livello di difficoltà incontrata nei vari step di acquisizione, elaborazione e resa.

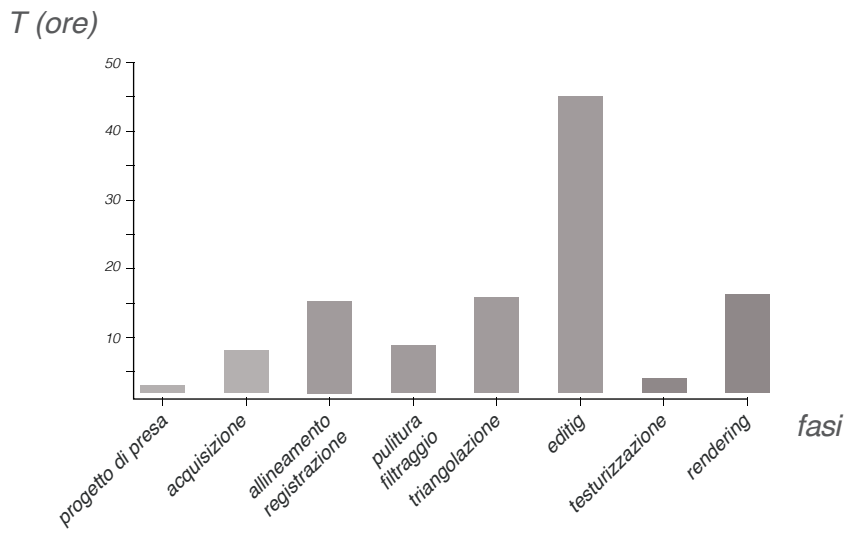


Fig.3.8.1 _ Grafico: stima ore di lavoro per ogni fase processuale

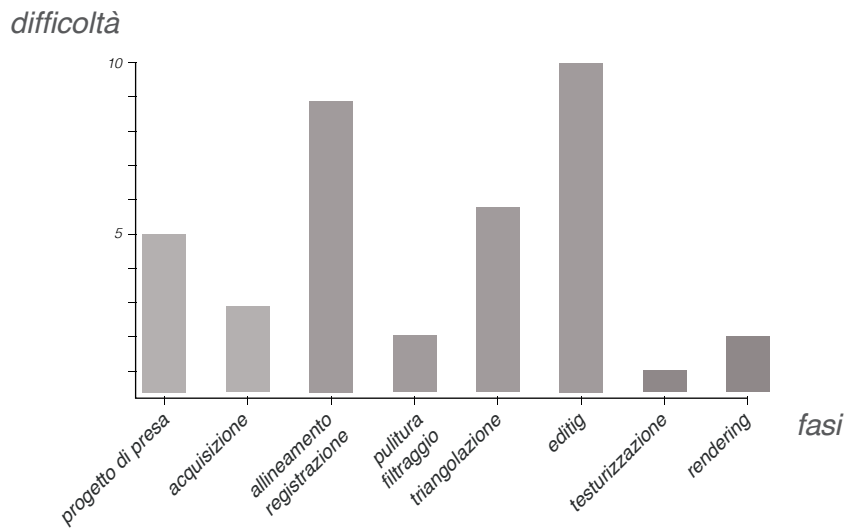


Fig.3.8.2 _ Grafico: stima delle difficoltà riscontrate per ogni fase processuale

CAPITOLO 4

Riflessioni progettuali: interazione uomo-auto-laser

*Per progettare è necessario porre l'utente
al centro di una riflessione strutturata e dinamica.*

Ottenuto il modello tridimensionale della vettura, e di conseguenza tutte le informazioni strutturali e dimensionali necessarie, è possibile partire con la progettazione dei supporti per il Lynx Mobile Mapper sul Nissan Terrano.

Durante il percorso di ricostruzione dei vari componenti, è apparso subito chiaro come la vettura in questione non disponga di particolari supporti o strumenti a cui appoggiarsi per l'installazione delle attrezzature al suo interno.

È dunque indispensabile partire dall'idea di creare dei prodotti di supporto che siano il più indipendenti possibile dall'automobile in sé. Non essendo infatti possibile agire sulla vettura con modifiche permanenti, si è partiti ragionando sulla progettazione di componenti mobili che possano essere facilmente installati sulla vettura al momento dell'utilizzo del laser.

Per strutturare un percorso coerente per i fini progettuali, si è reso essenziale valutare l'automobile come un grande sistema, nel quale convivono e si interfacciano differenti livelli di interazione.

L'interazione diventa quindi concetto base dal quale generare tutte le riflessioni che in fase di progetto è utile tenere in considerazione per non deviare troppo su idee poco pertinenti.

In questo caso specifico non è più possibile basarsi solamente sull'interazione tra l'uomo e la macchina, ma bisogna valutare anche il binomio macchina-sistema laser. E infine quello fondamentale tra la macchina, il laser e l'uomo.

Questi tre livelli devono essere coniugati in modo sincrono affinché le proposte progettuali siano fedeli all'effettiva finalità del progetto.

Il primo livello di interazione dà le informazioni base attraverso cui capire quali siano i bisogni dell'utente durante l'utilizzo dell'auto.

Il secondo livello struttura le aree che il laser andrà ad occupare all'interno della vettura, e che saranno soggetti della progettazione dei supporti,

dando così i vincoli formali di progetto.

Il terzo livello mostra invece come l'utente si interfaccia con il montaggio, la sistemazione e l'utilizzo delle apparecchiature laser all'interno dell'automobile (anche in movimento), fornendo i vincoli funzionali.

Nei prossimi tre paragrafi verranno analizzati questi concetti e verranno inseriti concretamente all'interno della progettazione dei prodotti specifici.

Dai presupposti che sfoceranno da queste riflessioni si potrà partire con la definizione delle caratteristiche funzionali che i supporti dovranno possedere, attraverso l'analisi di mercato e di alcuni prodotti utilizzati come spunti progettuali.

Prima di partire con lo studio di questo sistema, è giusto precisare come la progettazione dell'automobile (componentistica compresa) sia un tema vastissimo e per questa ragione non può essere affrontata in modo generico. È stata quindi compiuta la scelta di calare le riflessioni progettuali nello specifico sui supporti e si è presa in esame questa strada tra le molteplici possibili.

Parole chiave:

interazione, uomo, macchina, laser, spunti progettuali

4.1. *L'interazione tra uomo ed auto*

Il rapporto uomo-automobile rappresenta oggi un sistema complesso in continua evoluzione e mutamento. Grazie alle nuove tecnologie e alle frontiere della tecnica, che sempre di più si stanno spingendo oltre nuovi obiettivi, unite ai recenti bisogni degli utenti-utilizzatori di questo spazio, si sta assistendo a questo inesorabile avanzamento che porta a concepire la progettazione dell'automobile e dei suoi componenti partendo dall'inscindibile binomio uomo-sistema.

L'uomo mostra oggi una spiccata affinità relazionale con questo spazio, ricercando sempre più, non solo un grado di personalizzazione e sicurezza maggiore, ma anche la possibilità di avere un controllo sempre più connesso alle sue esigenze e alle sue attività, che pian piano si stanno allontanando dal semplice guidare.

«L'automobile recupera in maniera realistica riferimenti agli interni domestici vale a dire alla forma preesistente. Poiché gli interni subiscono una trasformazione, si tratta di un riferimento trasformante non conservante. Se non un nuovo focolare, l'interno dell'auto diviene nuovo salotto multimediale». [Isao Hosoe, *Dal micro al macro e viceversa*, 1999] (Fig. 4.1.1 e 4.1.2)

E sempre più ci trova davanti ad un'auto che si allestisce come spazio lavorativo, che ospita diverse tipologie di attrezzature e modalità di utilizzo. Fondamentale diventa quindi ragionare in termini di comfort dell'auto, attraverso cui si possano creare i presupposti per vivere al meglio lo spazio utilizzato. (Fig. 4.1.3)

Ed è da questo che deriva la necessità di ragionare sull'interazione che si crea tra tutti gli "attori" di questo sistema. Forma, funzione e funzionamento diventano il trinomio da cui partire per una progettazione coerente, che sfoci in progetti basati sui principi di affordance ed usabilità. In questo senso è possibile, e forse necessario, considerare l'automobile come una protesi dell'uomo, che sia in grado di fornire gli elementi che servano all'utente per attuare le funzionalità del sistema più consone alla situazione.

L'interazione tra uomo ed auto si deve creare dall'integrazione di elementi, che posti nella giusta misura, siano attuatori di ragionamenti progettuali sempre più calcolati dal punto di vista dell'usabilità prima menzionata.

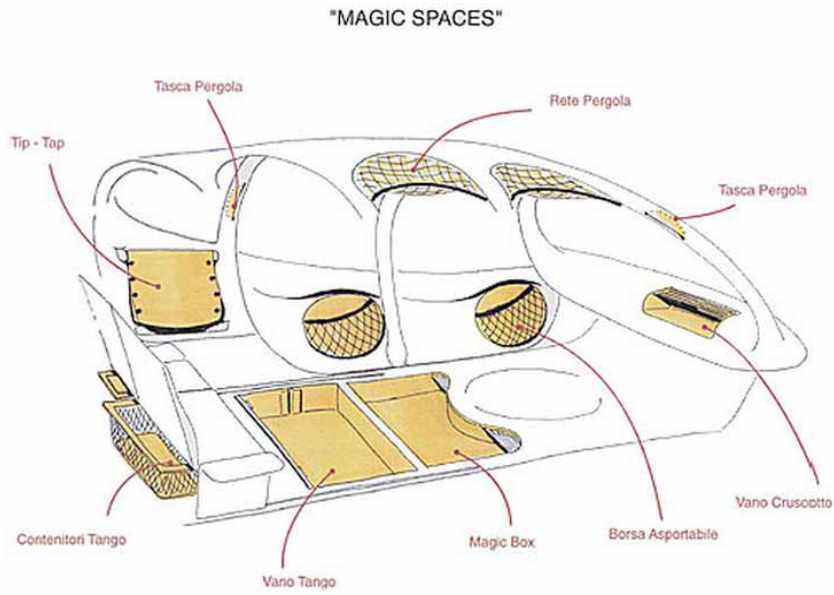


Fig.4.1.1 _ L'auto trasformabile, Isao Hosoe, 1999

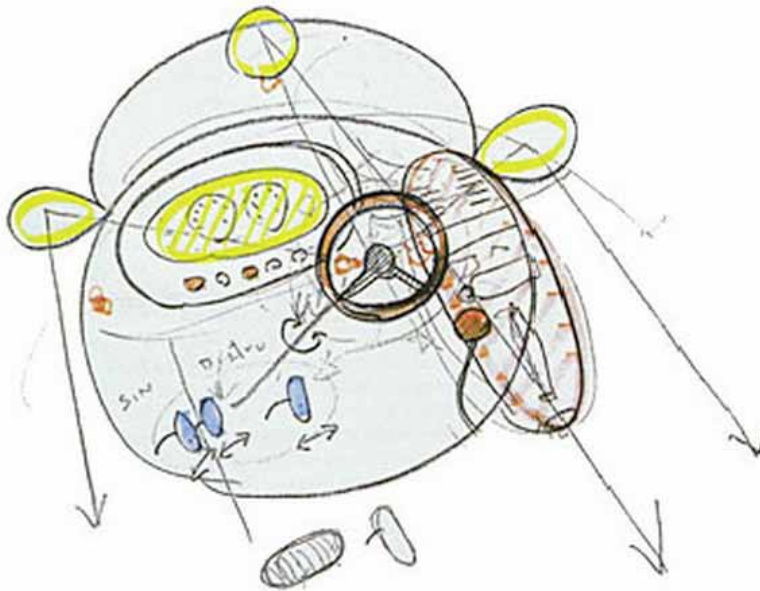


Fig.4.1.2 _ Vista cruscotto del L'auto trasformabile, Isao Hosoe, 1999

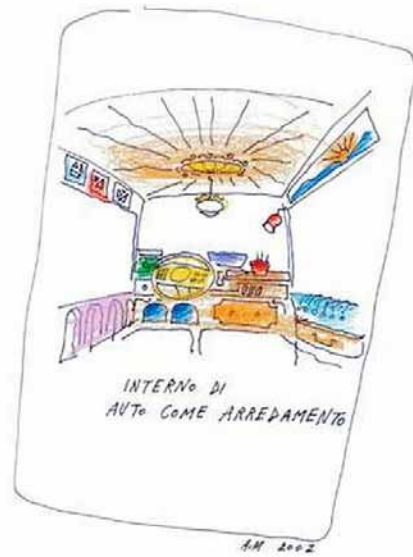


Fig.4.1.3 _ Nuova 500, Alessandro Mendini, 2003

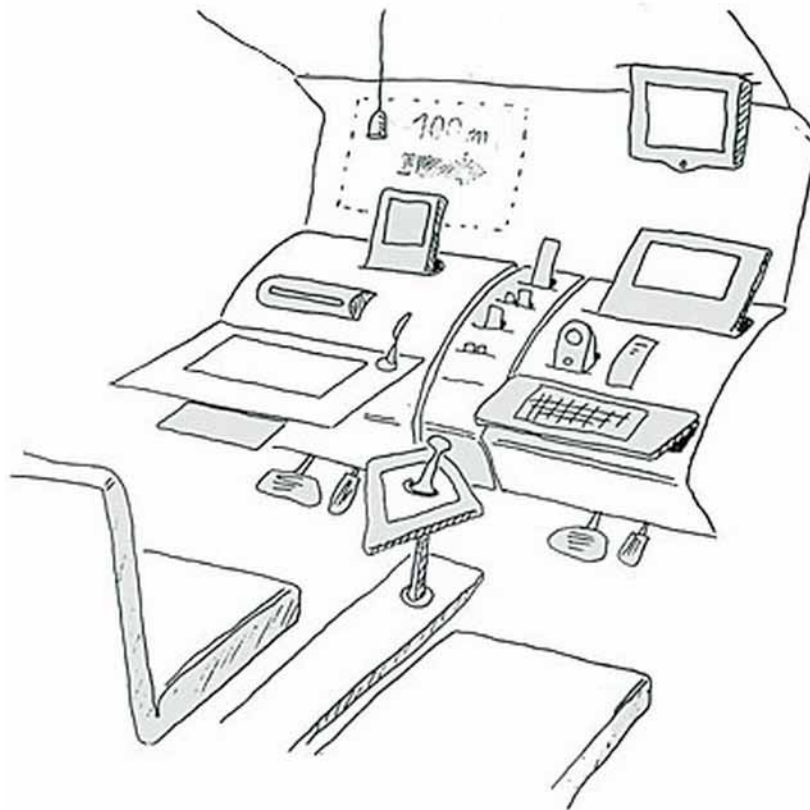


Fig.4.1.4 _ Auto telmatica, Michele De Lucchi, 2003

Interazione fisica, informativa, funzionale, culturale e sensoriale diventano in questo contesto fattori predominanti nell'ideazione di sistemi il più connessi possibile tra l'utente e la "macchina". (Fig. 4.1.4)

E da questi presupposti si può iniziare a ragionare sulle funzionalità su cui i supporti, per il Lynx Mobile Mapper, dovranno basarsi.

Come prima anticipato, l'automobile che sarà impiegata per il contenimento e l'utilizzo del laser, sarà il Nissan Terrano. Una vettura datata che non dispone dei supporti specifici e tecnici presenti in quelle più recenti. Quello su cui bisogna puntare, è rendere le sue caratteristiche sfruttabili dal punto di vista di una progettazione che sia connessa con un livello, non solo funzionale, ma anche psicologico dell'uomo: è necessario che l'utente senta la vettura in grado di accogliere queste apparecchiature nella piena sicurezza ed usabilità.

4.2. L'interazione tra laser ed auto

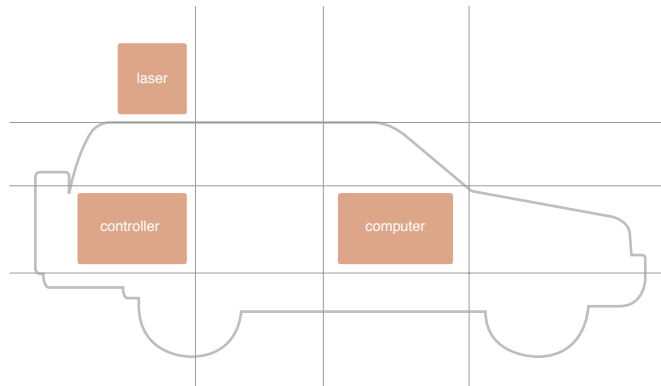
Per comprendere appieno la modalità con cui approcciarsi a questo tipo di progettazione, è utile analizzare le caratteristiche strutturali e di posizionamento degli strumenti all'interno dell'automobile.

È quindi necessario porre l'attenzione sulle modalità di inserimento del sistema laser nella spazialità dell'auto ed estrapolarne le connettività dirette ed indirette, per capire il funzionamento reale del sistema.

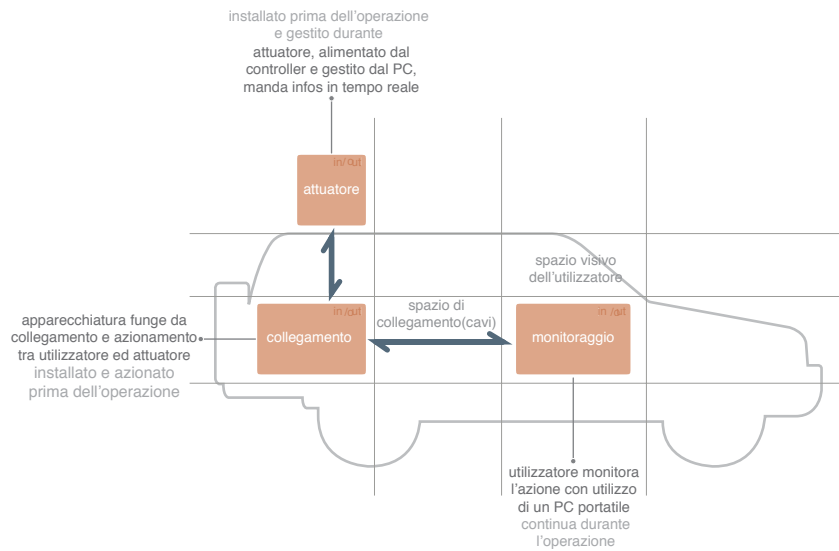
Questo livello di interazione diventa fondamentale nell'ideazione dei prodotti poiché fornisce i vincoli tecnici entro cui operare per rintracciare soluzioni funzionali in grado di rispondere alle esigenze fisiche del sistema laser-auto.

Per fare questo diventa di primaria importanza comprendere il funzionamento di tutte le apparecchiature facenti parte del Mobile Laser Scanner Lynx e come esse si interfaccino tra di loro per svolgere il loro compito al meglio.

Per facilitare la comprensione dell'intero sistema, è possibile suddividere l'automobile in sezioni che rappresentino gli spazi da considerare per il posizionamento dei vari apparecchi. (Fig. 4.2.1)



a



b

Fig.4.2.1 _ Schema posizionamento delle attrezzature nell'auto (a) e rappresentazione delle connessioni (b)

Il primo componente è il laser vero e proprio, che è ben fissato sul tettuccio dell'automobile. Possiamo considerarlo come l'attuatore dell'operazione. Viene posto precedentemente l'inizio della rilevazione e gestito durante. Il laser, in sostanza, viene alimentato dal controller e gestito dal computer, a cui manda informazioni in tempo reale durante l'acquisizione.

All'interno del bagagliaio troviamo invece il controller (e la batteria di alimentazione). Il suo ruolo è quello di collegamento tra l'utilizzatore e l'attuatore. Il computer invia le informazioni che passano attraverso il controller che le gestisce e le traduce in un linguaggio comprensibile al laser. Dopodiché le invia all'apparecchio che rimanda indietro i dati acquisiti.

Infine troviamo il personal computer (portatile) che, dall'interno dell'abitacolo, monitora e gestisce le operazioni di rilevazione e ha un feedback immediato sull'andamento.

Riassumendo, il laser è collegato con il controller; il controller con il computer, il laser, l'alimentatore e altri sistemi posizionati all'esterno dell'automobile (rif. Capitolo 1, paragrafo 1.2); il computer con il controller.

Il collegamento è effettuato tramite cavi che, dal controller, si diramano all'esterno sul tettuccio e all'interno nell'abitacolo, per raggiungere il computer.

In sostanza questi tre elementi lavorano per connessioni e collegamenti diretti, ma non condividono spazi comuni. Ogni attrezzatura del sistema è posizionata in un diverso spazio che non è sempre gestibile fisicamente dall'operatore durante il funzionamento delle apparecchiature. È quindi fondamentale creare tre tipologie di supporti specifici che siano in grado di rispondere in maniera focalizzata sulle caratteristiche tecniche e funzionali di ogni componente.

Partendo da questo ragionamento, nel prossimo paragrafo verrà studiata la modalità di interazione tra l'utente e il sistema laser-auto, per comprendere i presupposti fondamentali per progettare dei supporti che rispondano alle esigenze effettive degli utilizzatori.

4.3. *L'interazione tra uomo, laser ed auto*

In questo complesso sistema, l'azione dell'uomo diventa l'aspetto principale da studiare ed analizzare con estrema attenzione. Sia il montaggio che la sistemazione, all'interno della vettura, delle apparecchiature necessarie al funzionamento del laser, richiedono uno sforzo logistico ed organizzativo notevole da parte dell'operatore. E questo si protrae anche dopo queste fasi, poiché durante l'acquisizione dovrà monitorare i risultati, per evitare errori o imperfezioni.

Sebbene i componenti da installare siano molteplici, le fasi di montaggio dei diversi elementi devono essere sincronizzate in modo da poter creare i collegamenti affinché il laser possa funzionare correttamente.

Per focalizzare la progettazione sugli aspetti di funzionalità ed usabilità del sistema, è utile osservare quelle che sono le fasi principali compiute dall'utente, dal trasporto all'utilizzo.

I vari elementi adibiti all'acquisizione delle scansioni vengono portati, già montati, su di una piattaforma predisposta al loro inserimento, in prossimità della vettura. Arrivati a destinazione il laser viene sollevato e montato sul tettuccio del veicolo per essere messo in sicurezza, fissandolo a degli appositi sostegni che evitino movimenti durante la fase di rilevazione. Dato il peso considerevole dell'apparecchiatura, il laser deve essere trasportato da un minimo di due persone, per evitare spiacevoli inconvenienti. Una volta montato, i cavi vengono collegati al sistema e confluiti nel bagagliaio.

Il controller viene trasportato assieme all'alimentatore (fonte di energia dell'intero sistema) e posizionato all'interno del bagagliaio. Qui viene fissato in modo che non abbia possibilità di slittamento all'interno della superficie del baule, che provocherebbe problematiche durante la campagna di rilevazione. Ad esso vengono collegati i cavi provenienti dal laser esterno (e dalle altre apparecchiature che non sono però oggetto della progettazione) e quelli che raggiungeranno poi il computer nell'abitacolo.

Il personal computer, trasportato fino alla macchina, sarà collocato nella posizione più consona alla situazione per permettere un monitoraggio attento delle scansioni. Sarà avviato e collegato ai cavi, provenienti dal controller.

Iniziata la campagna di acquisizione, l'operatore si occuperà di impostare le scansioni dal personal computer e avrà solamente contatti "informatici" con le apparecchiature poste nelle altre allocazioni.

Riflettendo sulle operazioni analizzate, è possibile ricavare quattro fasi principali, comuni a tutti e tre gli elementi presi in esame. Le fasi in questione possono essere sintetizzate in: avvicinamento, posizionamento, sistemazione e messa in sicurezza, attuazione. (Fig. 4.3.1)

In base alle operazioni che vengono svolte in ciascuno di questi momenti, è possibile ricavare dei gradi di interazione e sforzo, necessari (da parte dell'operatore) per ogni progetto, che siano utili a comprendere quale fase dovrà essere maggiormente considerata, affinché la progettazione sia ben mirata ai bisogni dell'utente.

Partendo dalla fase di avvicinamento, il trasporto del laser e delle attrezzature varie da porre nel baule, provocano uno sforzo fisico consistente nell'operatore, che deve muovere elementi di grande dimensione e peso. Sforzo che sicuramente non è presente nell'avvicinamento del computer alla vettura.

Il posizionamento richiede altrettanto impegno e fatica poiché i componenti sono da collocare nella corretta posizione: il laser sul tettuccio, il controller nel bagagliaio e il computer nell'abitacolo.

La sistemazione è una fase delicata perché richiede l'interazione dell'utente nella messa in sicurezza di tutti gli elementi. Il laser deve essere ben fissato sul tetto, come il controller nel bagagliaio; e il computer dovrà essere posto in modo tale che non rechi impedimenti alla guida o all'uscita rapida dalla macchina, in caso di pericolo.

Infine nella fase di attuazione, nonché di rilevazione, i componenti sono già installati e pronti all'uso: l'operatore dovrà mantenere un alto livello di interazione con il personal computer per impostare i parametri di scansione e monitorare l'andamento dell'acquisizione. In questo caso non è più sforzo fisico ma di concentrazione ed attenzione. (Fig. 4.3.2)

In base all'analisi appena svolta, è possibile selezionare le fasi di interesse per i fini progettuali.

Per quanto riguarda il laser, bisogna agire soprattutto sulle fasi di posizionamento e sistemazione, così come per il controller. Per il computer, invece, è necessario ragionare in modo attento soprattutto sulla fase di attuazione, momento fondamentale di operatività in cui l'utente gestisce gli altri apparecchi dall'abitacolo, solamente grazie a questo strumento.

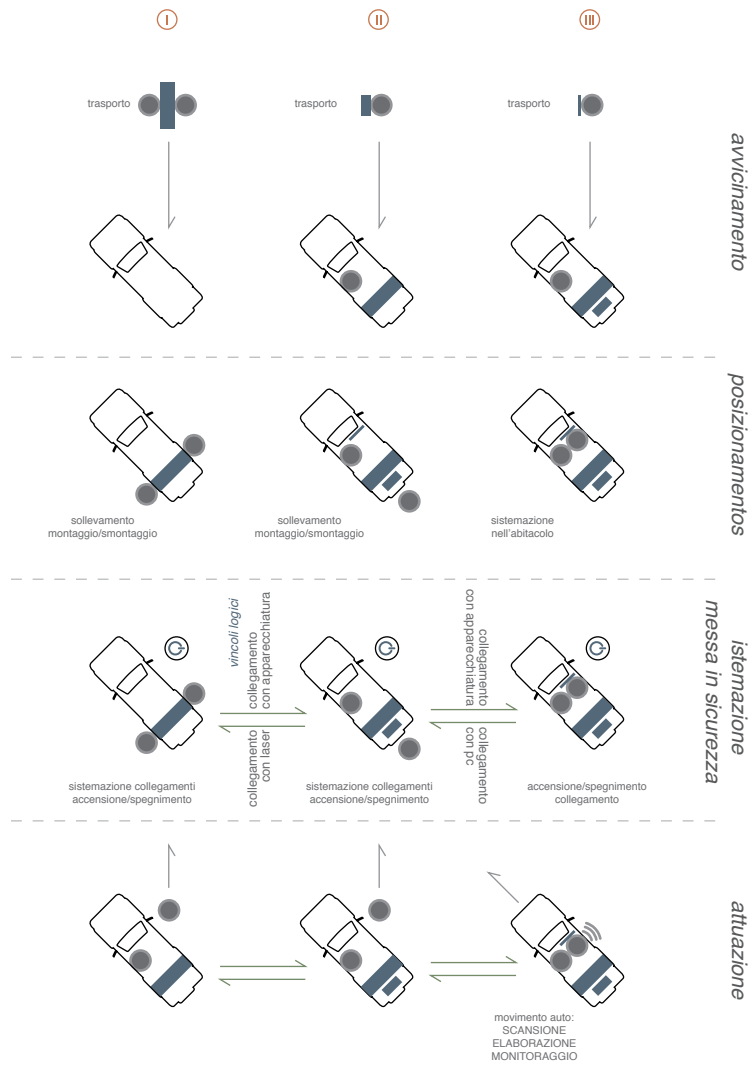


Fig.4.3.1 _ Storyboard di montaggio e azionamento delle attrezzature del Mobile Mapper Lynx

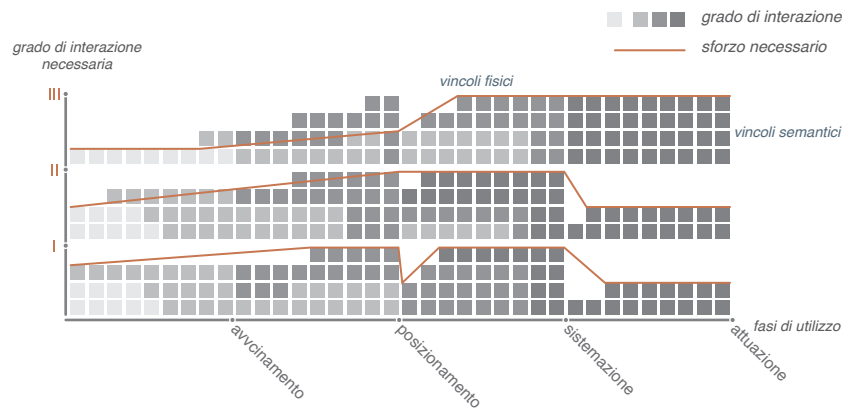


Fig.4.3.2 _ Grafico: fasi di utilizzo-interazione

Tracciati i presupposti per l'ideazione dei supporti, è utile ricercare sul mercato dei prodotti che possano essere spunto per la progettazione dei tre elementi specifici del sistema, mantenendo sempre al centro dell'attenzione i concetti di funzionalità ed usabilità.

4.4. Spunti progettuali I: supporto per laser

La progettazione di un supporto mobile che permetta il sollevamento ed il posizionamento di un elemento con il considerevole peso di 70 chilogrammi, ha generato riflessioni di tipo tecnico. L'installazione manuale, oltre ad essere pericolosa, quando si parla di altezze intorno a due metri, risulta essere anche problematica dal punto di vista fisico.

Da ciò si è partiti ricercando nel mercato attrezzature che permettesse, con il minimo sforzo, di sollevare pesi sul tettuccio di un'automobile, ma non sono stati individuati apparecchi versatili che fossero in grado di rispondere a questa necessità. Sono stati quindi presi in considerazione alcune classi di prodotti quali gru, muletti, carrucole, che potessero sfruttare un movimento verticale per sollevare il laser portandolo a livello adeguato.

Focalizzando la ricerca più nello specifico su apparecchiature applicate a mezzi di trasporto, sono stati rintracciati alcuni sistemi di sollevamento di auto e furgoni, ed utilizzati per comprenderne l'effettivo funzionamento. (Fig. 4.4.1) Nel caso degli elevatori DTS, sono presenti due barre orizzontali, montate su di un supporto verticale, che le solleva attraverso una ruota mobile azionata elettricamente.

Il medesimo concetto viene ripreso anche dagli elevatori di carrozzine per disabili, in cui un supporto fisso vincola un carrello e lo muove in direzione, sfruttando l'energia di un motorino elettrico.

La ricerca si è poi spostata sulla tematica dei portabici, più vicina al concetto di fissaggio e facilità d'uso. Molti sono gli esempi in questo campo specifico ed in particolare due sono stati utili per comprendere le modalità con cui concepire il supporto.

Il portabici Arezzo della Perruzzo (Fig. 4.4.2) ha scaturito l'idea di utilizzare il gancio di traino per supportare il sollevamento in verticale. Infatti può reggere pesi di oltre 100 chilogrammi ed essendo già presente sul veicolo avrebbe creato il supporto adatto per il sistema.



Fig.4.4.1 _ Elevatori di auto e furgoni M 2.30 F, DTS



Fig.4.4.2 _ Portabici Arezzo, Perruzzo



Fig.4.4.3 _ Portabici ProRide 591, Thule

È stato però necessario avere anche degli elementi nella parte superiore, che permettessero la gestione del posizionamento del laser e di fissarlo al portapacchi. La Thule ha dato spunto per meccanismi che rispondessero alle caratteristiche del prodotto, fornendo alcuni modelli di portabici (Fig. 4.4.3) da tettuccio.

Com'è possibile immaginare, i supporti per le biciclette non sono in grado di reggere pesi troppo eccessivi, e la conformazione delle strutture non è adatta a supportare dimensioni così elevate, quali quelle del laser.

A partire da queste informazioni si è quindi partiti nell'ideazione di un sistema nuovo che permette di unire insieme facilità di montaggio e di utilizzo, e che sia specifico per il sistema Lynx Mobile Mapper.

Per progettare in questo campo specifico è stato necessario tenere in considerazione le normative relative al codice della strada, ed in particolare la regolamentazione sui carichi sporgenti.

4.5. Spunti progettuali II: supporto per controller

Il controller e l'alimentatore, posti all'interno del bagagliaio, hanno bisogno di supporti che siano in grado di tenerli in posizione ed evitino quindi urti in fase di rilevazione su strada. È dunque necessario creare un prodotto che svolga queste funzioni, all'interno di uno spazio che non ospita vere e proprie possibilità di fissaggio.

Sono presenti sul mercato numerosi sistemi di bloccaggio e divisori per portabagagli, specifici per i vari modelli di auto. Ogni casa automobilistica fornisce infatti dei supporti, simili a binari che, posti lateralmente sulla parete del bagagliaio, danno la possibilità di fissare elementi secondari, permettendo di creare degli scomparti.

Esistono anche modelli posizionabili su macchine generiche, ma la dimensione del controller ed il suo peso, sono proibitivi per quei tipi di sistemi che non sono in grado di bloccare una massa così consistente.

Parlando di versatilità ed organizzazione dello spazio, sono stati individuati numerosi spunti rappresentativi di modalità di gestione differente. Molti sono gli esempi di zaini (Fig. 4.5.1), soprattutto fotografici, che hanno la caratteristica di poter modificare la loro suddivisione interna per poter scegliere la modalità di posizionamento migliore per le attrezzature.



Fig.4.5.1 _ Zaino fotografico F-Stop Pack, Burton



Fig.4.5.2 _ Sistema multiblocco con divisori regolabili, Buffetti



Fig.4.5.3 _ Attrezzature da viaggio, SwissBox

Sempre su questa linea, numerosi sono i prodotti che presentano dinamismo di composizione, come le scaffalature in metallo in cui è possibile regolare l'altezza dei piani, incastrandoli in guide metalliche. Un altro esempio significativo è la mensola di Buffetti (Fig. 4.5.2) che, attraverso dei pannelli mobili, può modificare l'ampiezza delle sezioni divisorie.

Per quanto riguarda i meccanismi specifici per il fissaggio dei componenti, sono state analizzate delle attrezzature che, posizionate nel bagagliaio, cambiano conformazione e possono essere utilizzate come supporti anche esterni all'auto, come nell'esempio dello SwissBox. (Fig. 4.5.3)

Le idee provenienti da questi prodotti sono confluite in un supporto versatile, in grado di gestire lo spazio con grande facilità, e robusto, per contenere le attrezzature del laser.

4.6. Spunti progettuali III: supporto per laptop

L'utilizzo del personal computer all'interno dell'abitacolo di una macchina, è un tema già affrontato, e molti sono i prodotti presenti sul mercato. Le soluzioni hanno però portato a all'ideazione di supporti fissi, avvitati all'interno della vettura che permettono di avere un piano regolabile su cui appoggiare l'apparecchio e operare dal sedile del passeggero.

Andare a modificare la struttura interna di un'automobile è tuttavia rischioso poiché esistono normative che vincolano in maniera rigorosa l'installazione di strumenti che possano ostruire un'eventuale uscita rapida dalla vettura, in caso di pericolo.

La ricerca si è quindi concentrata sull'individuazione di supporti mobili, che non creassero un impedimento fisico permanente. Molti sono stati gli spunti in questa direzione, anche applicati alle automobili. Molti sistemi utilizzano delle modalità di incastro sui volanti, ad esempio, oppure montati sui poggiatesta anteriori per utilizzarli sui sedili posteriori. Interessante è stata l'ultima proposta della LG che ha presentato un supporto per notebook da installare sul parabrezza anteriore con lo stesso meccanismo di un navigatore GPS. (Fig. 4.6.1)



Fig.4.6.1 _ Icecream Notebook, LG, 2012



Fig.4.6.2 _ Almove, MacHolder, 2011



Fig.4.6.3 _ Openaire Laptop, 2009

Per ottimizzare la fase di trasporto del computer alla macchina e quella del suo utilizzo nell'abitacolo, si è impostata una riflessione atta a sfruttare lo stesso prodotto per le due operazioni. Sono stati individuati alcuni esempi di custodie e borse che permettessero con estrema facilità di utilizzare il computer direttamente dalla o sulla custodia protettiva. Esempio interessante è la custodia Almove (Fig. 4.6.2) che dà la possibilità di sfilare il pc direttamente dalla protezione e porlo sulla superficie in alluminio che la ricopre, creando un supporto rigido da cui poter lavorare. Altro concept è la borsa del computer Openaire Laptop (Fig. 4.6.3) che sfrutta la borsa stessa come piano sviluppabile anche in larghezza, permettendo di disporre di un'ampia estensione per il suo utilizzo.

Partendo da queste idee, è stato sviluppato un prodotto in grado di operare autonomamente dalla vettura ma nello stesso tempo da la possibilità di essere utilizzato in maniera dinamica in base alla situazione di impiego.

Definiti i presupposti fondamentali per la progettazione dei tre supporti, nel prossimo capitolo verranno sviluppati i prodotti che saranno risposti alle esigenze funzionali e tecniche fin'ora esposte.

CAPITOLO 5

Sviluppo dei prodotti

*Progettare significa ideare un prodotto interattivo
che risponda con coerenza ai requisiti iniziali.*

Dopo aver rintracciato i campi d'azione, aver estrapolato le caratteristiche funzionali e tecniche e vagliato varie possibilità, è finalmente possibile partire con la reale progettazione dei supporti per il Lyn Mobile Mapper. Attraverso il modello tridimensionale della vettura, ricreata tramite l'acquisizione delle scansioni del Nissan Terrano reale, sono state ottenute le dimensioni utili affinché la progettazione risulti coerente con i requisiti specifici del sistema.

Prima di esporre i prodotti finali, è utile considerare che, viste le problematiche da risolvere in termini di interazione tra l'uomo ed il sistema laser, i risultati si presentano come progetti alquanto tecnici.

Per questa ragione, oltre a progettare la componentistica specifica, ci si è approcciati ai prodotti con un'ottica connessa all'usabilità dell'intero sistema. L'idea è stata quella di creare dei supporti che educassero l'utente al loro utilizzo, vincolandolo a steps definiti e precisi.

Quello che è l'obiettivo dei prodotti, è quindi il comunicare i modi d'uso e le funzionalità delle apparecchiature a cui si riferiscono.

Ogni prodotto verrà quindi esposto, nei prossimi paragrafi, dal punto di vista della componentistica e dei materiali. Verrà anche dedicata una parte sulle sue modalità di utilizzo, per rendere chiaro il funzionamento e definire quindi le potenzialità dei progetti.

Potenzialità che possono sicuramente essere implementate, ragionando in termini di versatilità ed adattabilità dei supporti a differenti mezzi di trasporto, che abbiano le possibilità per ospitare il mobile scanner.

Parole chiave:

progettazione, componentistica, storyboard di utilizzo, materiali, render

5.1. Progetto I: supporto per il laser

I bisogni che necessitano essere espressi da questo progetto, si basano sulla facilità di posizionamento e smontaggio. L'apparecchiatura da porre sul tettuccio ha infatti un peso considerevole di 70 chilogrammi e delle dimensioni pari a 1.900 mm di larghezza, 827 di lunghezza e 574 di altezza.

Considerate anche le notevoli dimensioni del sistema, è essenziale creare un vero e proprio supporto solido che sia in grado, in maniera meccanica, di sollevare l'apparecchio e porlo in posizione, per rendere l'operazione il meno pericolosa e rischiosa possibile.

In aggiunta, il prodotto deve essere facilmente smontabile, poiché la vettura in questione è utilizzata anche per altri scopi. Bisogna quindi creare una struttura indipendente dalla macchina che renda possibili le varie operazioni in modo funzionale, senza creare limiti nell'utilizzo degli altri spazi dell'automobile. Sfruttando lo stesso sistema di ancoraggio dei portabici, si è scelto di adoperare il gancio di traino per sostenere il peso della struttura. Serve poi un altro punto di ancoraggio per dare stabilità, e la scelta è ricaduta sul portapacchi superiore: ancorandosi ad esso è possibile ovviare ad eventuali ribaltamenti della struttura in fase di sollevamento. Il supporto si compone in modo perpendicolare rispetto al tettuccio: per quindi colmare lo spazio tra la struttura ed il tetto, sono state applicate delle rotaie telescopiche che permettono lo scorrimento del laser, una volta sollevato, fino in posizione.

Necessità fondamentale è stata anche trovare delle soluzioni che permettessero di aprire agilmente il bagagliaio, poiché fondamentale per riporre il controller e le altre attrezzature, senza però sporgere in larghezza dalla macchina.

Nel prossimo paragrafo saranno mostrati e descritti i componenti specifici del sistema per comprendere in maniera più precisa le modalità di funzionamento ed ancoraggio.

5.1.1. Componentistica e materiali

Il prodotto è costituito di vari componenti necessari per il posizionamento e l'installazione del laser. (Fig. 5.1.1.1)

In primo luogo troviamo l'apparecchiatura che sostiene il sistema, montata sul gancio di traino (che in media può supportare pesi di oltre 1000 chi-

logrammi). Attraverso un bloccaggio interno a morsa, questo meccanismo sostiene la struttura, scaricandone il peso e vincolandone i movimenti.

Da esso partono i tubolari in acciaio di diametro 50 mm, che corrono lateralmente fino al limite del profilo esterno della macchina e curvano fino ad arrivare ad un'altezza poco superiore a quella del tettuccio. (Fig. 5.1.1.1 a) Entrambe continuano creando un angolo di 90 gradi e vanno a raggiungere il gancio del portapacchi, già presente sul tettuccio per supportare il laser. (Fig. 5.1.1.1 b) Prima di curvare, i due tubolari si uniscono ad un palo orizzontale di spessore 40 mm, su cui è installato il motorino elettrico per l'innalzamento dell'apparecchio. (Fig. 5.1.1.1 c) Per il sistema di carico è stato ipotizzato un verricello argano elettrico in grado di sollevare fino a 910 chilogrammi; le sue dimensioni base sono 285x105x105 mm e 7,5 chilogrammi di peso; il sistema è alimentato tramite aggancio allo spinotto del gancio di traino ed è azionato mediante un telecomando. Esso è installato all'interno di una protezione montata sul palo orizzontale, in modo che non sia soggetto a problematiche in caso di condizioni ambientali sfavorevoli.

Il sollevamento avviene tramite lo scorrimento di due forche, connesse tra di loro, che si muovono sui due tubolari verticali laterali, trainate dalla fune metallica connessa al verricello di spessore 4,8 mm, partendo da un'altezza di 1 metro da terra (per facilitare il posizionamento del laser in fase di montaggio). (Fig. 5.1.1.1 d) Le forche hanno la possibilità di richiudersi, terminata la fase di sistemazione dell'apparecchio.

L'intera struttura si compone di sette elementi tubolari che vengono agganciati tra loro.

A questo punto è stata creata la struttura basilare per compiere il sollevamento. Vista però la distanza tra i pali verticali e l'inizio del tettuccio, si è reso necessario installare un'altra struttura in acciaio, ancorata al portapacchi, che attraverso un'apertura telescopica, va ad accogliere il laser quando raggiunge il livello adeguato. (Fig. 5.1.1.1 e) Attraverso quattro ruote installate sulla piattaforma, il laser può scorrere sulle rotaie, create dalle due barre telescopiche, e raggiungere in questo modo la posizione adeguata per il suo funzionamento. Qui viene fissato, attraverso dei ganci metallici ai tubolari del portapacchi, con un meccanismo ad incastro che evita sobbalzi o slittamenti.

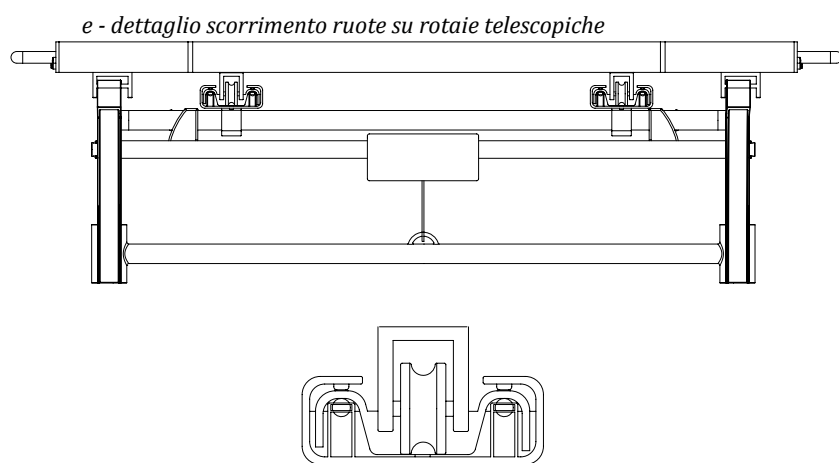
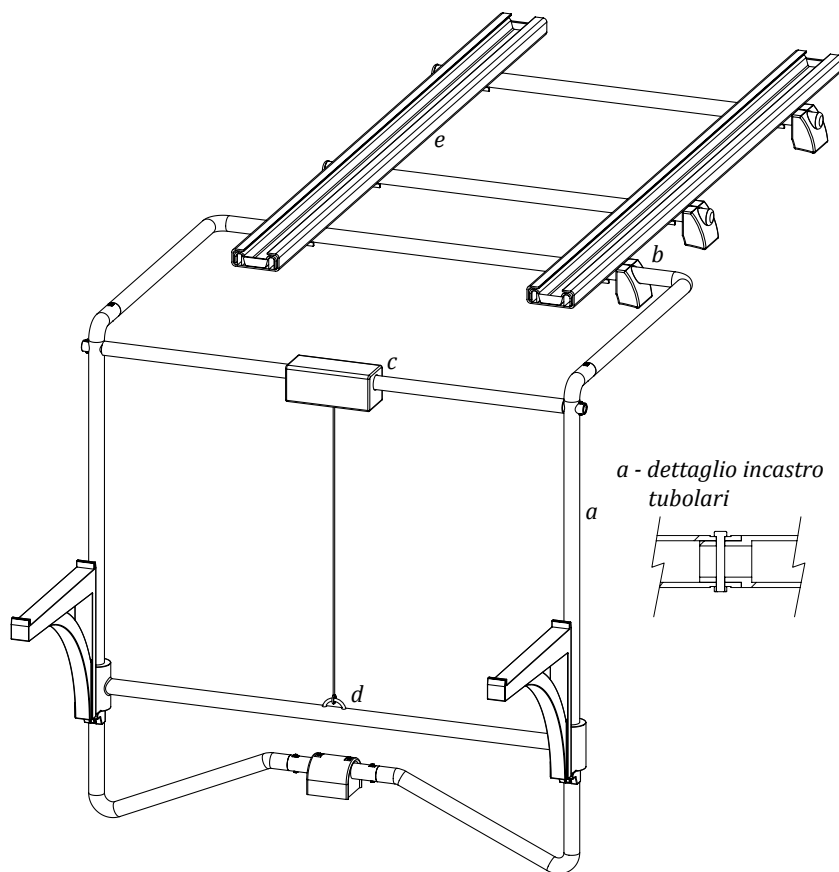


Fig.5.1.1.1_ Componentistica del supporto per il posizionamento del laser sul tettuccio

5.1.2. Storyboard di utilizzo

Il sistema, in termini di usabilità ed intuitività, si presenta molto semplice, vincolando un certo schema di montaggio e smontaggio. Possiamo suddividere il posizionamento del laser sul tettuccio in sette fasi distinte.

Nella prima fase si pone il laser sulle forche aperte, all'altezza di 1 metro. (Fig. 5.1.2.1 fase 1)

Nella seconda viene azionato il motorino elettrico che fa sollevare l'apparecchio. (Fig. 5.1.2.1 fase 2)

Le forche arrivano fino a termine corsa, bloccandosi contro il tubolare orizzontale del motorino (Fig. 5.1.2.1 fase 3), ad un'altezza superiore rispetto a quella dove sarà posizionato successivamente.

Nella quarta fase vengono allungate manualmente le barre telescopiche montate sul tettuccio, arrivando a disporsi sotto la piattaforma del laser. (Fig. 5.1.2.1 fase 4)

A quel punto le forche vengono fatte scendere, in modo che il laser si adagi (con il meccanismo di scorrimento posto sotto la piattaforma) sui binari. (Fig. 5.1.2.1 fase 5)

Nella sesta fase, il laser viene fatto scorrere manualmente sulle rotaie (con l'aiuto di due maniglie laterali sulla piattaforma) e viene bloccato nella posizione più consona; le rotaie vengono quindi richiuse. (Fig. 5.1.2.1 fase 6)

Nell'ultima fase le forche vengono riportate alla massima altezza e richiuse verso il centro dell'automobile, così da non creare problematiche nell'apertura dello sportello posteriore. (Fig. 5.1.2.1 fase 7)

Passaggio fondamentale per rendere completa questa strumentazione sarà effettuare la ripetizione dei fanali posteriori, poiché coperti dai tubolari metallici. Sistemi di questo tipo sono esistenti sul mercato e versatili dal punto di vista del montaggio. Si collegano allo spinotto del gancio di traino, venendo così alimentati.

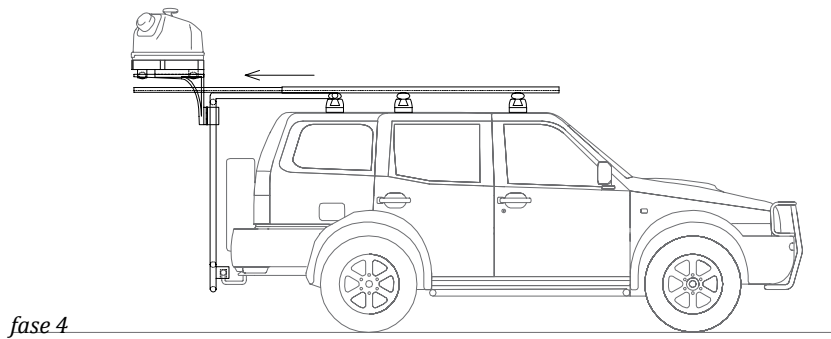
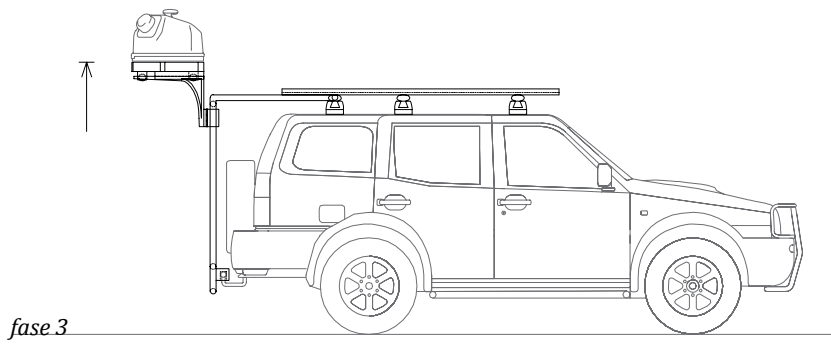
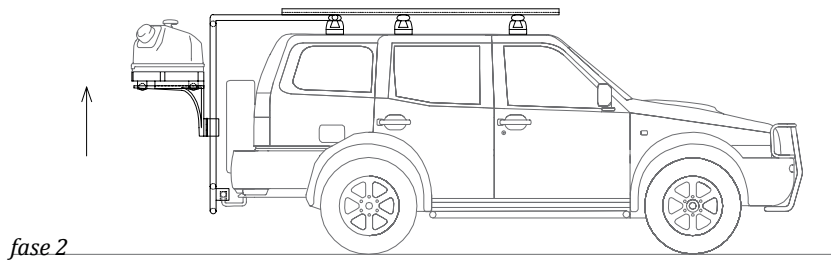
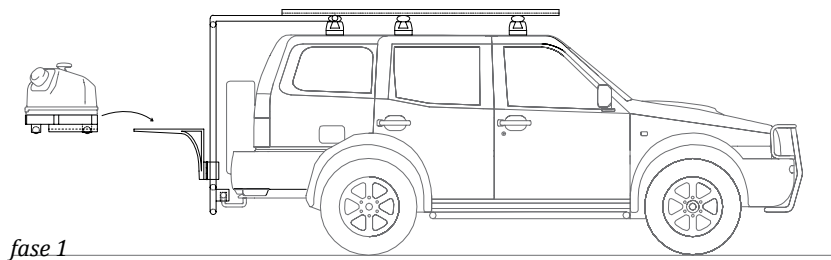


Fig.5.1.2.1 _ Storyboard di utilizzo del supporto per il posizionamento del laser sul tettuccio

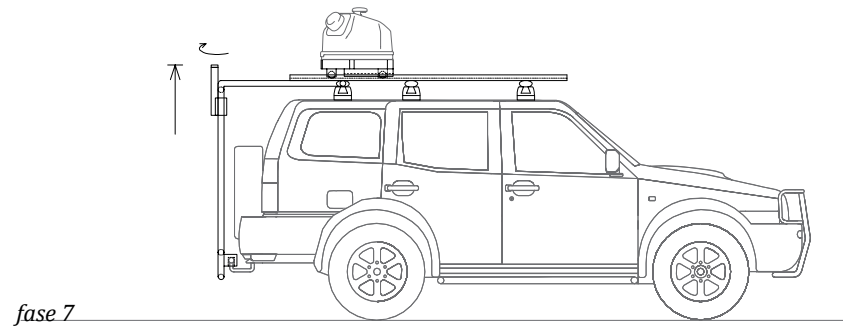
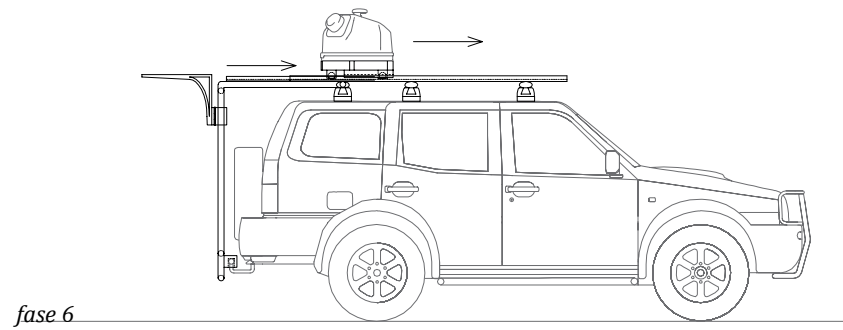
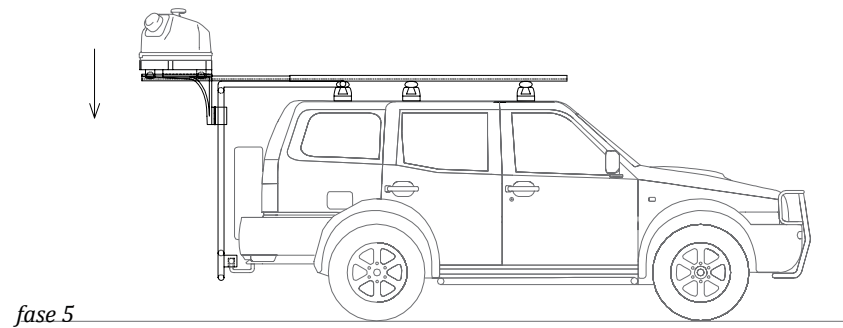


Fig.5.1.2.1 _ Storyboard di utilizzo del supporto per il posizionamento del laser sul tettuccio



Fig.5.1.2.2 _ Render I

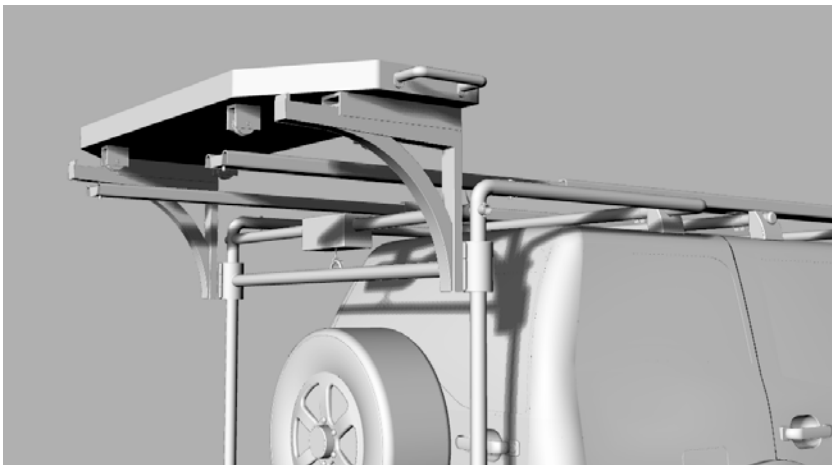


Fig.5.1.2.3 _ Render II



Fig.5.1.2.4 _ Render III

5.2. Progetto II: supporto per il controller

La progettazione del supporto per gli elementi da posizionare nel bagagliaio, è partita ragionando sulla modalità di organizzazione dello spazio al suo interno. Inizialmente l'idea è stata quella di creare un prodotto che fornisse anche un aiuto per il trasporto del controller, ma data già la presenza di una custodia munita di ruote (poiché il peso è di 31 chilogrammi), l'analisi si è focalizzata solamente sull'installazione all'interno del baule.

L'interno del bagagliaio dispone di due agganci per tiranti in prossimità degli angoli adiacenti ai sedili. Ma la necessità di creare un supporto rigido che fosse in grado di attutire gli urti della strada, che permettesse versatilità di organizzazione dello spazio e che desse la possibilità di poter gestire i numerosi cavi che partono dal controller, ha spostato l'idea progettuale su di un'altra modalità di fissaggio.

L'idea è quindi quella di creare una sorta di cornice che, aperta in relazione all'ampiezza del bagagliaio, va a adagiarsi sui tre lati più il portellone, così bloccandosi. In base alla modalità di installazione dei componenti si va poi a disporre degli elementi secondari e terziari, che ben fissati sulla struttura esterna, vanno a creare degli scomparti entro cui organizzare le attrezzature.

Attraverso questa modalità di apertura è anche possibile utilizzare il supporto su altre vetture, poiché la struttura a contorno è adattabile in larghezza e lunghezza.

Nel prossimo paragrafo saranno espone le componentistiche in grado di adattare l'apertura della struttura primaria, di quelle secondarie e terziarie.

5.2.1. Componentistica e materiali

Il prodotto si compone di tre elementi principali: la struttura primaria esterna, la struttura secondaria e terziaria, interne. Attraverso il fissaggio di questi elementi, è possibile creare delle conformazioni differenti all'interno dello spazio del baule. (Fig. 5.2.1.1)

La struttura esterna è una sorta di cornice di altezza 100 mm e spessore 30. I quattro lati del quadrato sono barre telescopiche in alluminio, ancorate a delle strutture angolari in poliuretano espanso, che attraverso una vite passante, bloccano gli elementi. Il lato di questa struttura ha una lunghezza di 600 mm, che può essere estesa fino a 1200 mm, sfruttando

il meccanismo a sfere dei pali telescopici, grazie alla quale è possibile far scorrere esternamente le due barre interne di 300 mm l'una. (Fig. 5.2.1.2) Una volta aperte nella posizione più consona all'ampiezza del bagagliaio, le barre vengono fissate in posizione grazie ad una manopola posta sullo spessore superiore, che permette una chiusura a pressione. (Fig. 5.2.1.3)

La struttura secondaria funziona con la stessa modalità telescopica del sistema esterno. Ha la stessa lunghezza e spessore. Sono però saldati ad essa degli uncini sul lato esterno, dotati di una guarnizione, affinché sia possibile bloccarli sulla struttura primaria. (Fig. 5.2.1.4)

La struttura terziaria si presenta identica a quella secondaria, a differenza delle dimensioni. La barra esterna ha una lunghezza di 300 mm e quelle interne di 150 mm. (Fig. 5.2.1.5)

Per risolvere il problema di posizionamento del controller e della possibilità di urti provocati da dissestamenti del terreno, si è ipotizzato di sollevare lo strumento in modo tale che sia appoggiato sulle maniglie presenti sulla faccia anteriore e su quella posteriore, senza quindi avere un contatto diretto con la superficie del baule. Sono state quindi create due strutture apposite, di due altezze differenti (in relazione all'altezza in cui la maniglia si trova sui lati) sagomate in base alla forma della maniglia. Esse vanno ad inserirsi con lo stesso meccanismo dell'uncino, sulla struttura composta. (Fig. 5.2.1.6)

Le due strutture presentano sulla superficie di contatto con la maniglia, uno strato di materiale plastico morbido e antiscivolo.

Riflettendo sulla quantità di cavi che partiranno dal controller, sono state create delle strutture a forma di semicerchio che, posizionandosi sulle strutture secondarie o terziarie nella parte posteriore del controller, vanno a creare dei divisori di cavi, per così gestire meglio la quantità di elementi che si generano da questo spazio. Queste strutture si ancorano con la stessa modalità prima esposta. (Fig. 5.2.1.7)

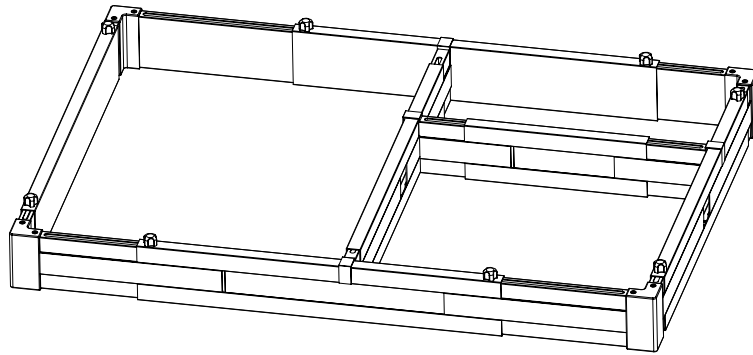


Fig.5.2.1.1 _ Supporto per il controller: struttura primaria, secondaria e terziaria

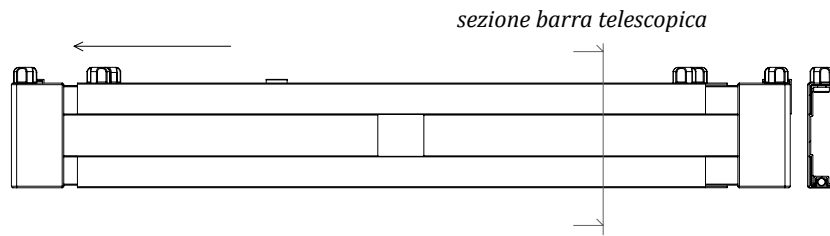


Fig.5.2.1.2 _ Barra telescopica: dettaglio scorrimento

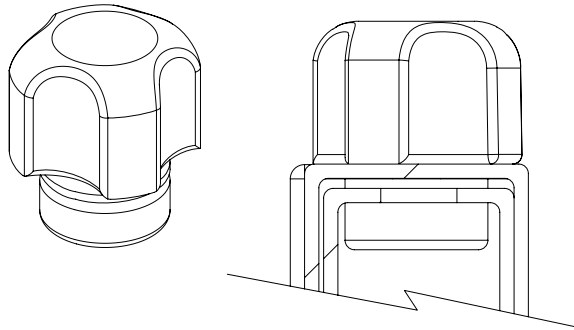


Fig.5.2.1.3 _ Sistema bloccaggio scorrimento: dettaglio manopola

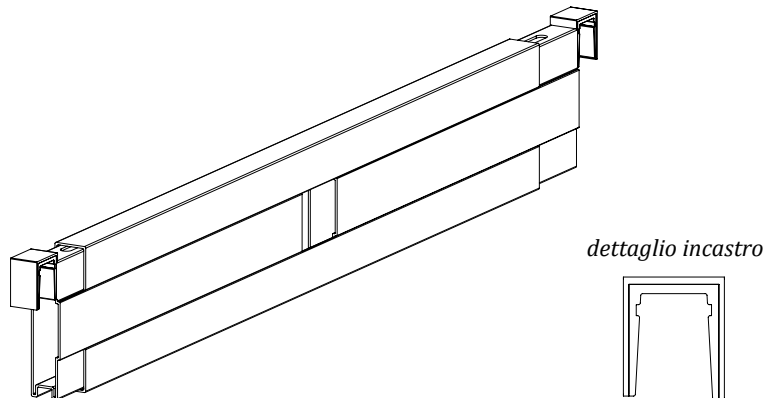


Fig.5.2.1.4 _ Struttura secondaria

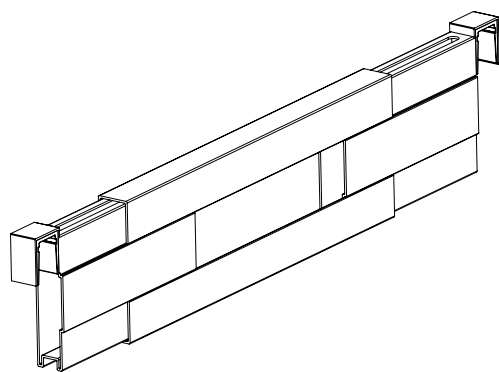


Fig.5.2.1.5 _ Struttura terziaria

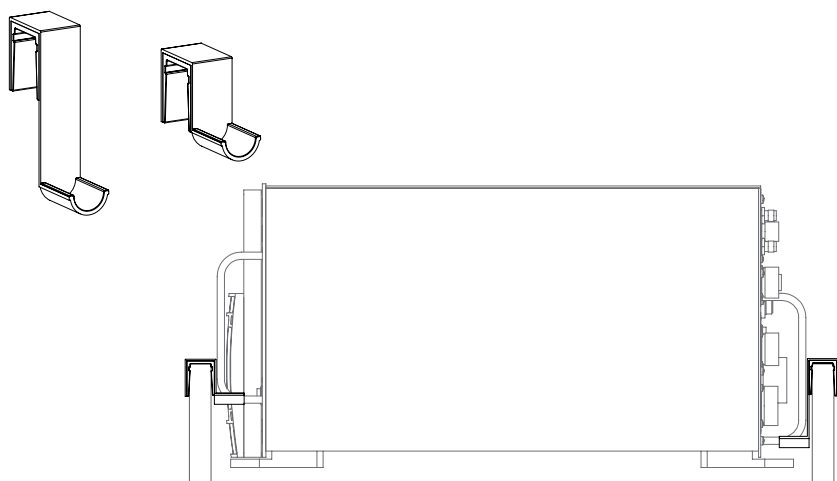


Fig.5.2.1.6 _ Strutture adibite al posizionamento del controller: dettaglio montaggio

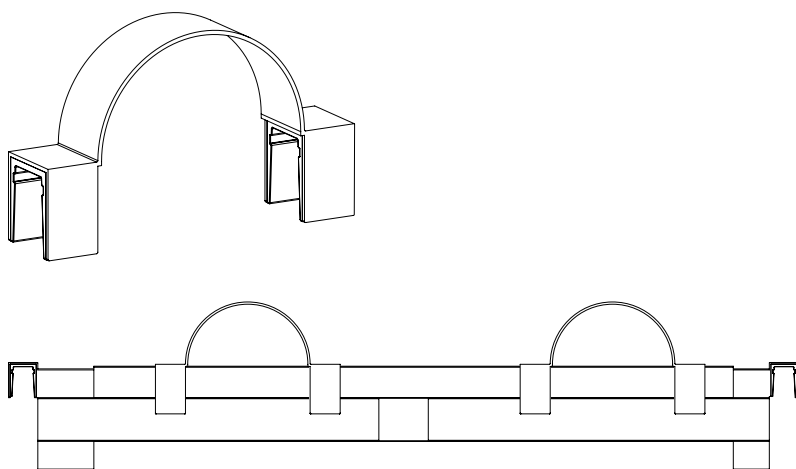


Fig.5.2.1.7 _ Struttura adibita a divisorio per i cavi

5.2.2. Storyboard di utilizzo

Il montaggio del prodotto è semplice ed intuitivo. Possiamo rintracciare sette fasi principali per l'installazione della struttura all'interno del bagagliaio.

Nella prima fase la struttura primaria si appoggia sulla superficie del bagagliaio. (Fig. 5.2.2.1 fase 1)

A questo punto la struttura viene ampliata fintanto da aderire alle pareti del baule, in modo da incastrarsi. (Fig. 5.2.2.1 fase 2) Nella terza fase si posizionano le strutture secondarie di cui si necessitano per organizzare lo spazio nel migliore dei modi, sfruttando l'incastro ad uncino, per bloccarle sulla struttura primaria. (Fig. 5.2.2.1 fase 3) Ad esse si fissano poi le strutture terziarie di cui si necessita e si incastrano alla struttura primaria e/o secondaria. (Fig. 5.2.2.1 fase 4) Nella quinta fase vengono posizionati i supporti per il controller, ponendoli nella corretta distanza tra loro. (Fig. 5.2.2.1 fase 5) A questo punto possono essere posizionati anche i divisori dei cavi sulla struttura adiacente a dove verrà installato il controller. (Fig. 5.2.2.1 fase 6) Nella settima fase è possibile quindi posizionare il controller e l'alimentatore negli spazi dedicati. (Fig. 5.2.2.1 fase7)

La struttura è stata creata in modo tale che risulti pratica nel trasporto sul luogo di utilizzo: è infatti possibile posizionare tutti gli elementi all'interno della struttura primaria chiusa, in modo tale che l'elemento da muovere sia solamente uno. (Fig. 5.2.2.2)

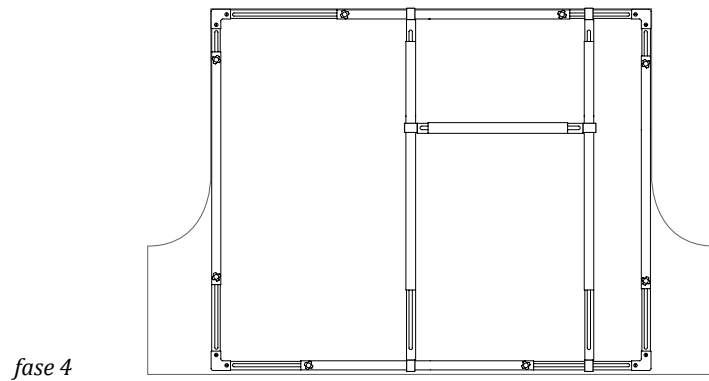
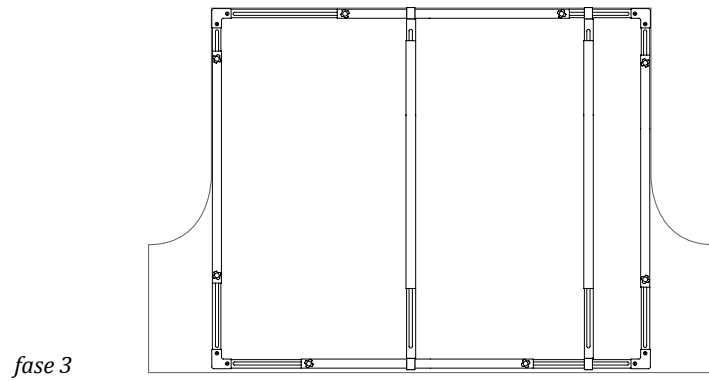
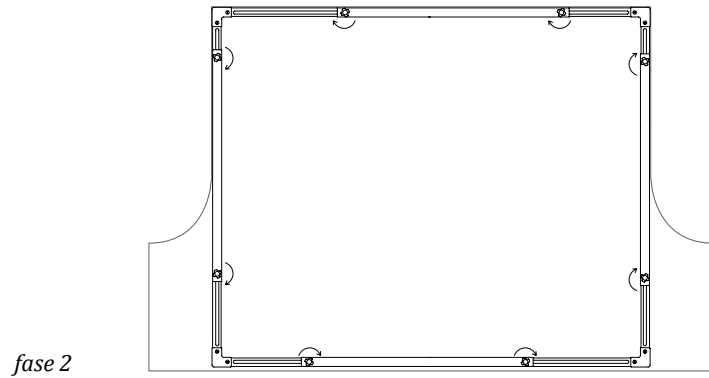
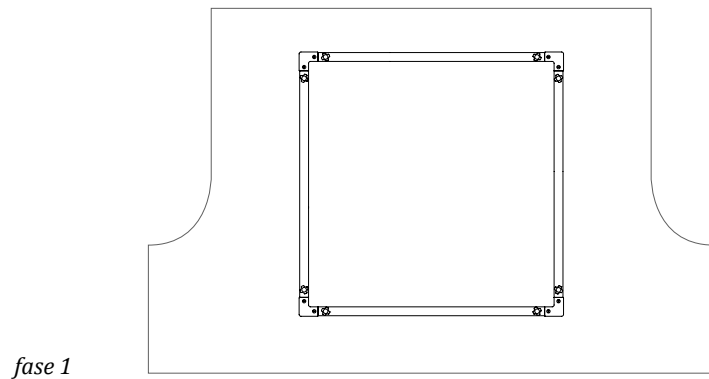


Fig.5.2.2.1 _ Storyboard di utilizzo del supporto per il posizionamento del controller

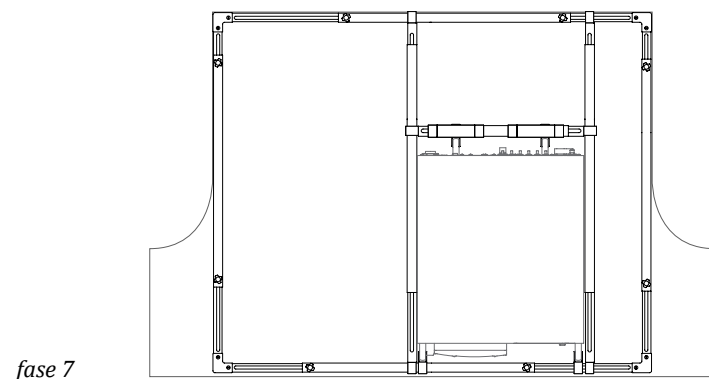
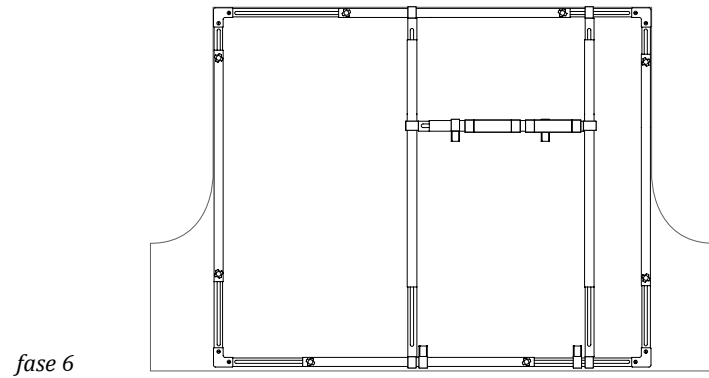
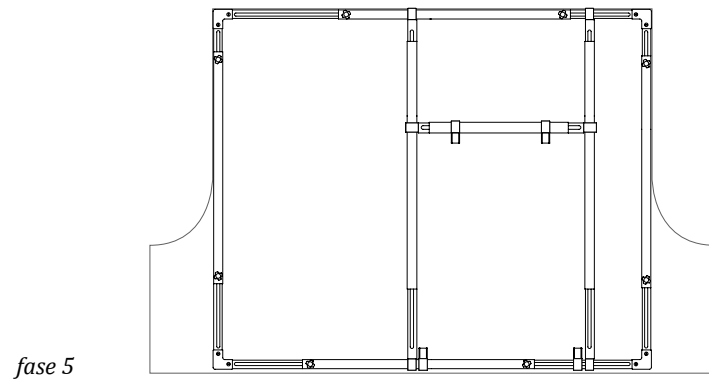


Fig.5.2.2.1 _ Storyboard di utilizzo del supporto per il posizionamento del controller

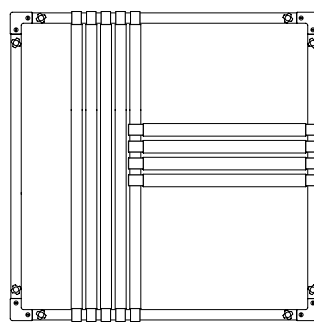


Fig.5.2.2.2 _ Conformazione supporto in fase di trasporto

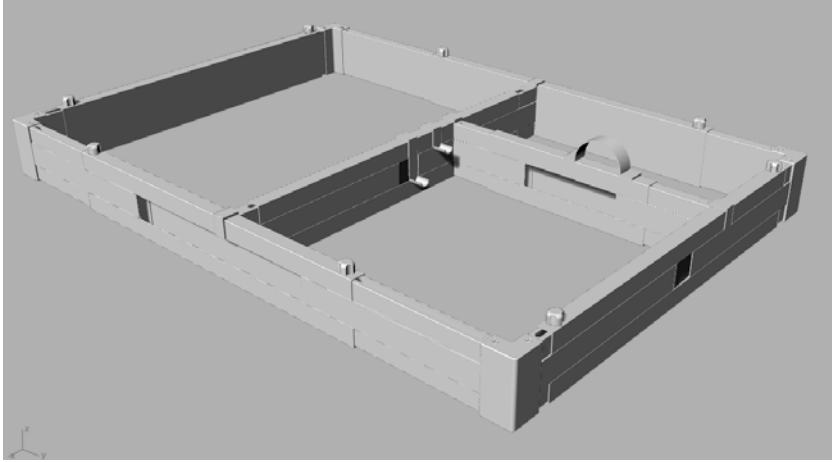


Fig.5.2.2.3 _ Render I

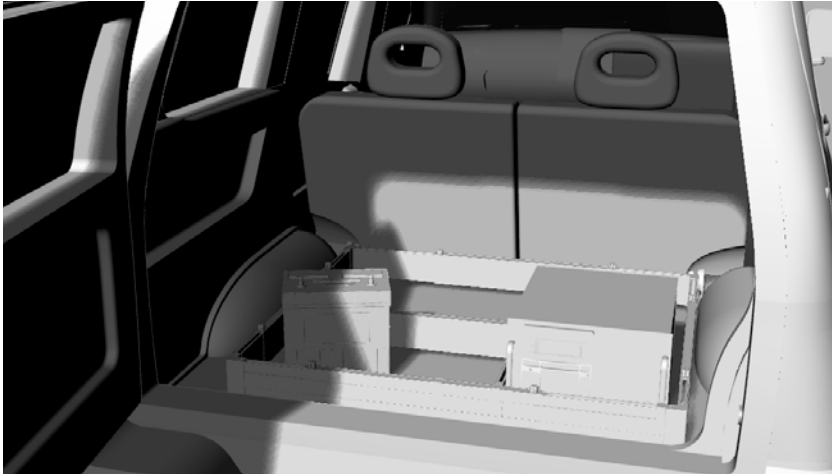


Fig.5.2.2.4 _ Render II

5.3. Progetto III: supporto per il laptop

La progettazione del supporto per il computer portatile, da utilizzare durante la campagna di acquisizione all'interno dell'abitacolo della macchina, ha portato a riflettere sulla possibilità di utilizzare uno stesso elemento per il suo impiego nelle tre posizioni richieste.

In base alle varie situazioni di scansione, deve infatti poter essere utilizzato dall'operatore posto sul sedile del passeggero, dal guidatore in fase di sosta oppure dall'operatore posizionato sul sedile posteriore.

Tenendo in considerazione tutte queste disposizioni ci si è direzionati sulla creazione di un prodotto che fosse versatile dal punto di vista del posizionamento e fosse il meno ingombrante possibile, così da non provocare "barriere" in caso di situazioni rischiose.

Per questa ragione si è pensato alla progettazione di una borsa per computer, che potesse esprimere i differenti modi d'uso prima esposti e che andasse anche a coprire tutte le fasi di utilizzo dall'avvicinamento al veicolo all'attuazione della campagna di scansione.

5.3.1. Componentistica e materiali

La borsa del computer è stata ideata per rispondere alle esigenze prima citate. All'interno quindi di un solo prodotto sono possibili tre differenti modalità d'uso. Per questa ragione sono stati integrati degli elementi che potessero esprimere questa versatilità, ponendo l'utente nella condizione di utilizzare la stessa borsa come supporto per il trasporto e come base di lavoro.

Partendo dall'aspetto esterno (Fig. 5.3.1.1), la borsa ha una dimensione di 390 mm di lunghezza, 290 di altezza e 110 di larghezza. Il tessuto costituente la scocca esterna è il poliestere, un materiale impermeabile che permette una notevole resistenza agli agenti atmosferici e all'usura. Le varie parti di tessuto sono cucite insieme tramite un risvolto interno, nascosto dalla fodera.

Sui due bordi delle superfici anteriore e posteriore, è stata posta una piccola asola contenente un tubolare in metallo per aumentare la rigidità del prodotto. (Fig. 5.3.1.1 a) Rigidità che è supportata da un sostegno rigido posto internamente sulla scocca inferiore (tra il tessuto interno e la fodera interna), che corre intorno al profilo della borsa.

A chiudere la parte esterna troviamo una patta avvolgente pieghevole, con all'interno dei supporti rigidi in polipropilene, che permettono di ripie-

garla su sé stessa creando una sorta di base triangolare per la regolazione dell'altezza del computer (questa operazione verrà poi espressa nel dettaglio). Essa si fissa sulla superficie della borsa tramite una striscia di velcro. (Fig. 5.3.1.1 b)

Sulla scocca posteriore troviamo un'altra striscia di velcro che permette l'accesso ad una tasca di ampiezza 300x240 mm. (Fig. 5.3.1.1 c) Tra le scocche corre una cerniera di larghezza 15 mm, che ha origine dalla parte superiore, prosegue sul lato esterno ed una volta ruotato sulla superficie inferiore, fa una curva sullo stesso piano, creando un quarto di circonferenza e termina. (Fig. 5.3.1.1 d)

Nella parte inferiore troviamo due piedini antiscivolo in Poliuretano espanso, cuciti sul tessuto della borsa. (Fig. 5.3.1.1 e)

Dalla parte laterale superiore partono gli anelli a cui è connessa la tracolla in Nylon. La tracolla è regolabile in lunghezza e nella parte centrale è cucito un poggia spalla con all'interno un'imbottitura in gommapiuma. (Fig. 5.3.1.1 f) Sulla faccia superiore sono cucite due cinghie elastiche, che permettono di collegare la borsa al poggiatesta della macchina. (Fig. 5.3.1.1 g) Sul lato destro troviamo un'asola rigida che funge da passante per il bloccaggio della borsa con la cintura di sicurezza. (Fig. 5.3.1.1 h) Sul fronte è presente un'altra asola che permette di far passare la tracolla ed usarla come supporto per la terza composizione possibile del prodotto. (Fig. 5.3.1.1 i)

Passando all'interno della borsa, troviamo due supporti rigidi in Polipropilene. Il primo (Fig. 5.3.1.2 a) ha un'altezza di 6 mm ed è unito alla scocca superiore tramite due strisce di velcro. (Fig. 5.3.1.2 b) Il compito di questo piano è ospitare il laptop, che lo tiene ancorato alla struttura tramite una cinghia cucita sulla fodera della scocca, ed un rialzo nella parte inferiore del supporto rigido. (Fig. 5.3.1.2 c)

Il secondo supporto (Fig. 5.3.1.3 a) si presenta come una sorta di tasca con un'altezza di 65 mm. Esso è sagomato in modo da ospitare le gambe dell'operatore. La parte superficiale è costituita da uno strato in lattice antiscivolo (Fig. 5.3.1.3 b) evitando possibili danni al computer che, una volta chiusa la borsa, va ad aderire contro questo piano. Attraverso uno snodo creato da velcro (Fig. 5.3.1.3 c), questo supporto può ruotare di qualche grado per permettere all'utente di raggiungere le tre tasche interne in Lycra, dove possono essere posizionati alimentatore, mouse o altre attrezzature utili. (Fig. 5.3.1.3 d). Questa struttura risulta essere più corta di quella superiore, così da consentire la rotazione del supporto. In posizione di chiusura, un'aletta in velcro la tiene fissa. (Fig. 5.3.1.3 e)

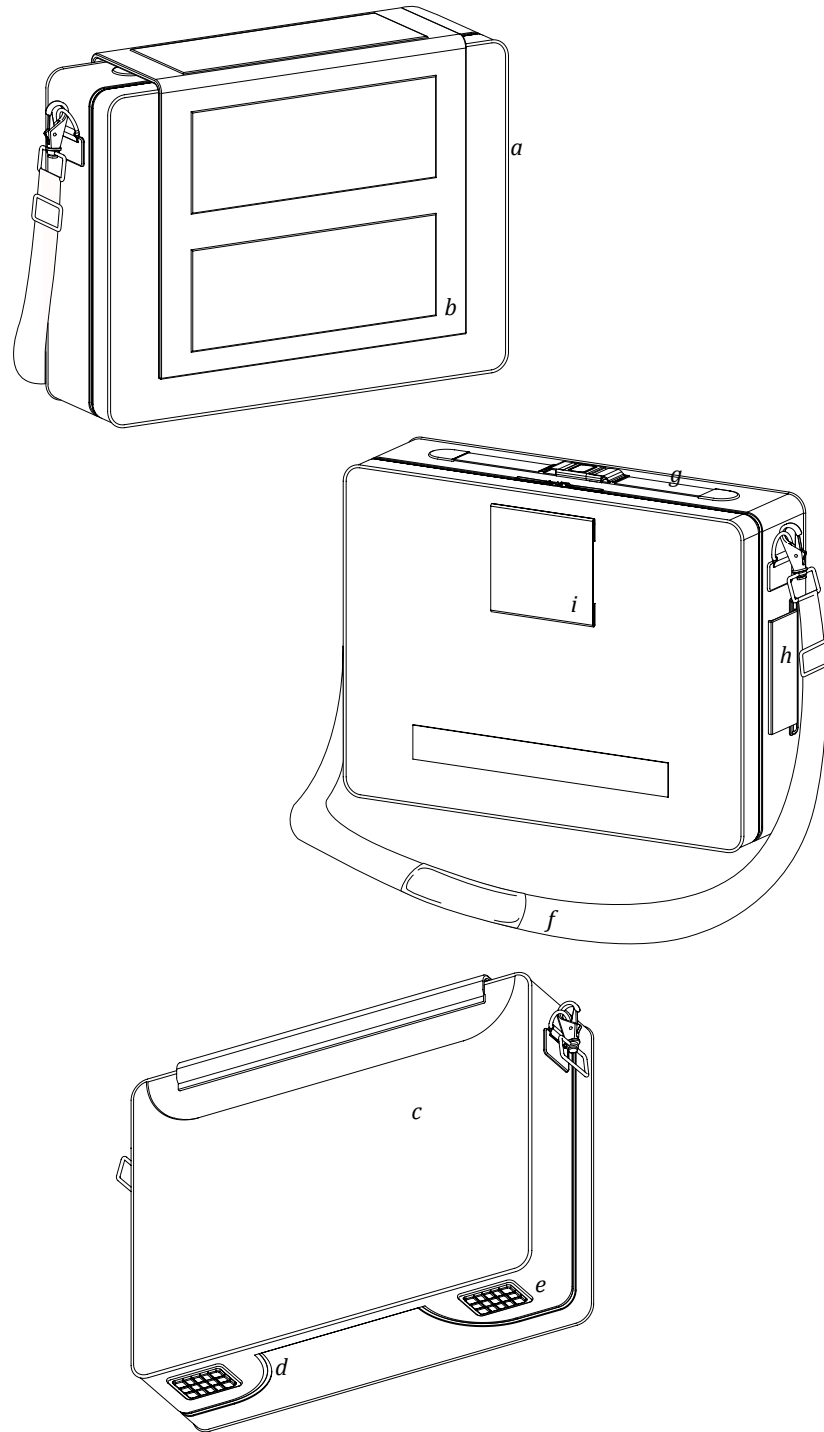


Fig.5.3.1.1 _ Borsa per laptop: conformazione esterna

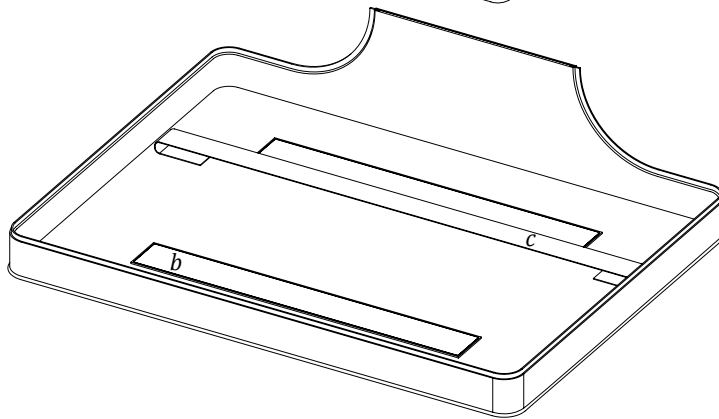
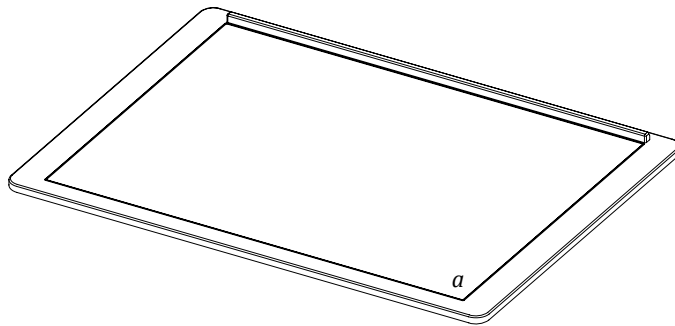
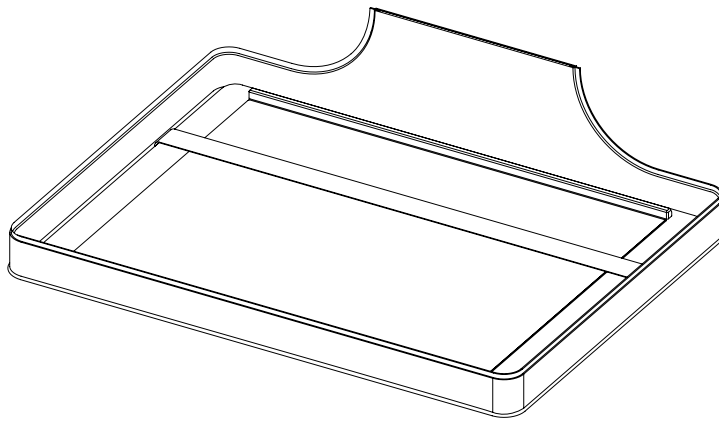


Fig.5.3.1.2 _ Borsa per laptop: componentistica scocca superiore

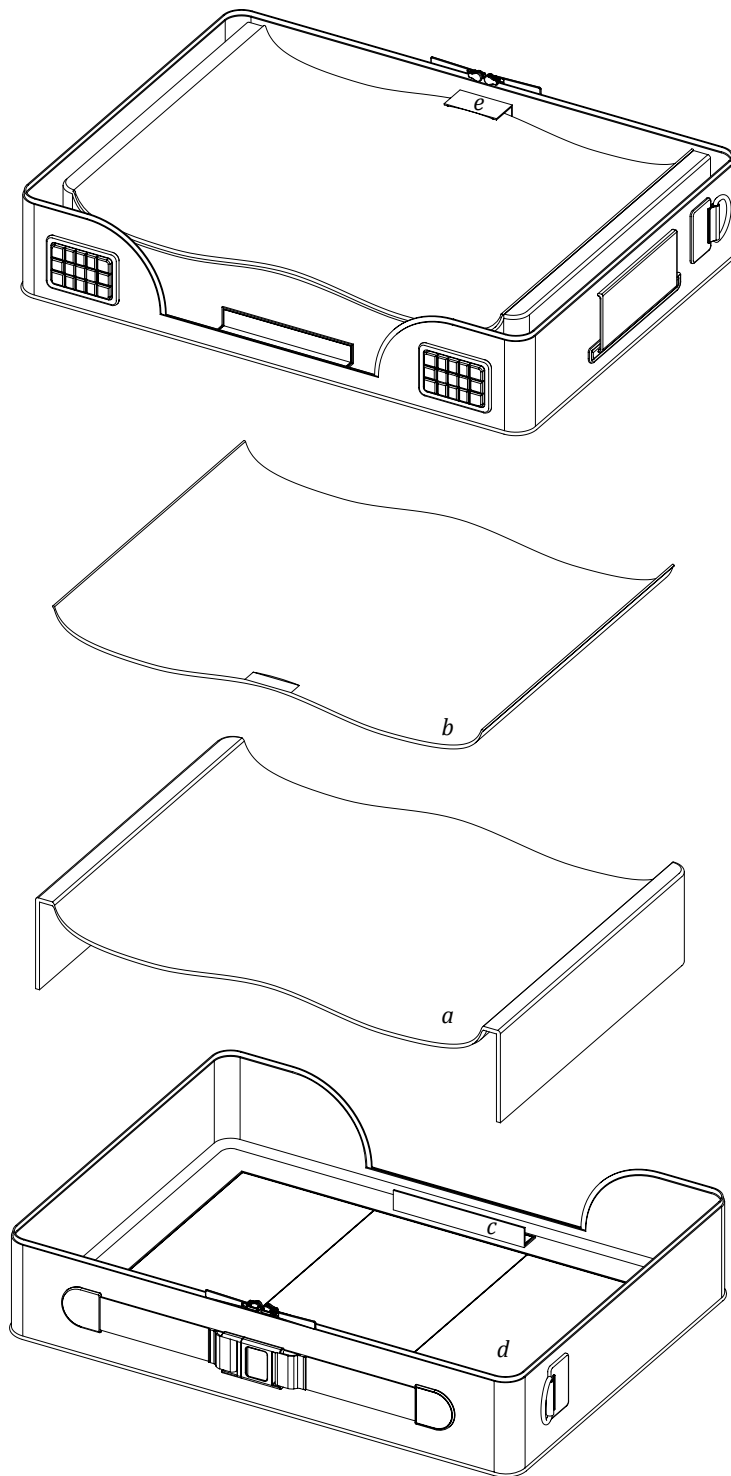


Fig.5.3.1.3 _ Borsa per laptop: componentistica scocca inferiore

5.3.2. Storyboard di utilizzo

È possibile individuare delle fasi di preparazione all'utilizzo della borsa, in base alla modalità con cui l'operatore decide di utilizzare il computer.

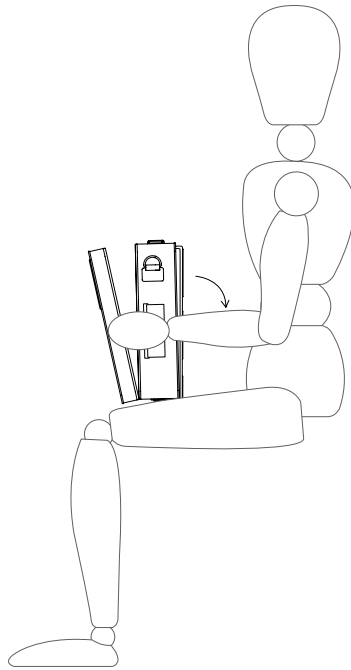
Nel caso in cui l'operatore voglia lavorare dal sedile del passeggero, rintracciamo tre fasi principali. (Fig. 5.3.2.1) Nella prima fase l'utente apre la borsa sulle proprie gambe. (Fig. 5.3.2.1 fase 1) A questo punto ruota la scocca posteriore e appoggia il supporto sagomato sulle gambe. (Fig. 5.3.2.1 fase 2) Nella terza fase viene ripiegata la patta fornendo uno spessore regolabile, per poter appoggiare la scocca anteriore con il computer. (Fig. 5.3.2.1 fase 3) Il laptop viene quindi sfilato dalla cinghia e avviato, per essere riposto nuovamente sulla base rigida e fissato con la cinghia tra il trackpad e la tastiera.

Nel caso in cui l'operatore sia il guidatore e durante la sosta voglia poter impostare le scansioni, la base di fissaggio per la struttura sarà costituita dal sedile del passeggero. Impostata la borsa con la stessa modalità prima esplicitata, viene posta sul sedile direzionata verso il guidatore e viene poi fissata tramite la cintura di sicurezza, che passando attraverso il passante posto lateralmente, la tiene in pressione contro lo schienale. (Fig. 5.3.2.2)

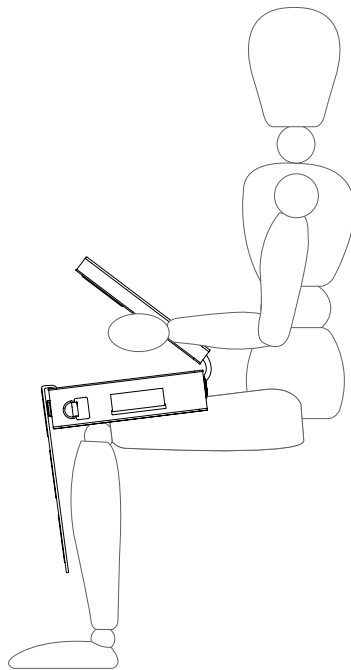
Nell'ultimo caso in cui l'operatore lavori dai sedili posteriori, è possibile impostare la borsa come una sorta di tavolino sospeso. Per creare questa conformazione sono necessarie tre fasi. (Fig. 5.3.2.3)

Nella prima fase si apre la borsa di 90 gradi, con la scocca anteriore posta orizzontalmente. (Fig. 5.3.2.3 fase 1) Le cinghie elastiche poste sul lato superiore della scocca posteriore, vengono sganciate e riagganciate attorno al poggiatesta del sedile. (Fig. 5.3.2.3 fase 2) Per bloccare la scocca con il computer, viene utilizzata la tracolla che, fatta girare attorno alla scocca superiore fissandola nell'asola, viene regolata fino a far raggiungere al piano l'angolo adatto per il lavoro. (Fig. 5.3.2.3 fase 3) In questo caso particolare il computer si trova ruotato rispetto al senso di utilizzo: va quindi posizionato correttamente sulla base.

Per dare un valore aggiunto al prodotto, è stata pensata la possibilità di staccare i supporti rigidi interni ed unirli insieme, in modo da creare un piano su cui fosse possibile utilizzare il computer in ogni luogo. (Fig. 5.3.2.4)

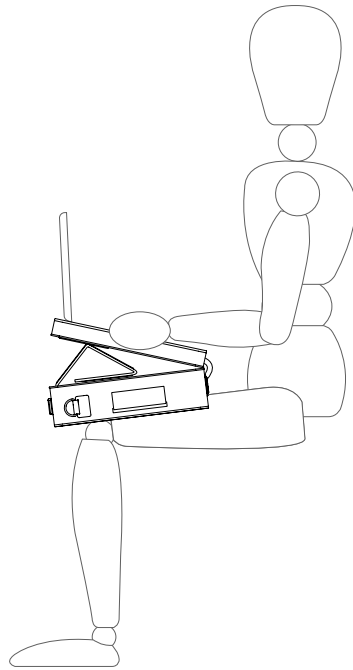


fase 1



fase 2

Fig.5.3.2.1 _ Storyboard di utilizzo della borsa: modo d'uso 1



fase 3

Fig.5.3.2.1 _ Storyboard di utilizzo della borsa: modo d'uso I

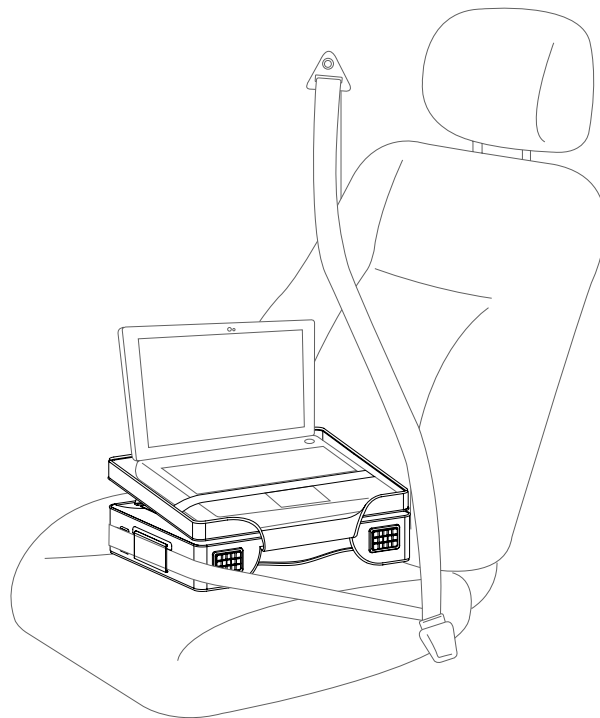


Fig.5.3.2.2 _ Modo d'uso II

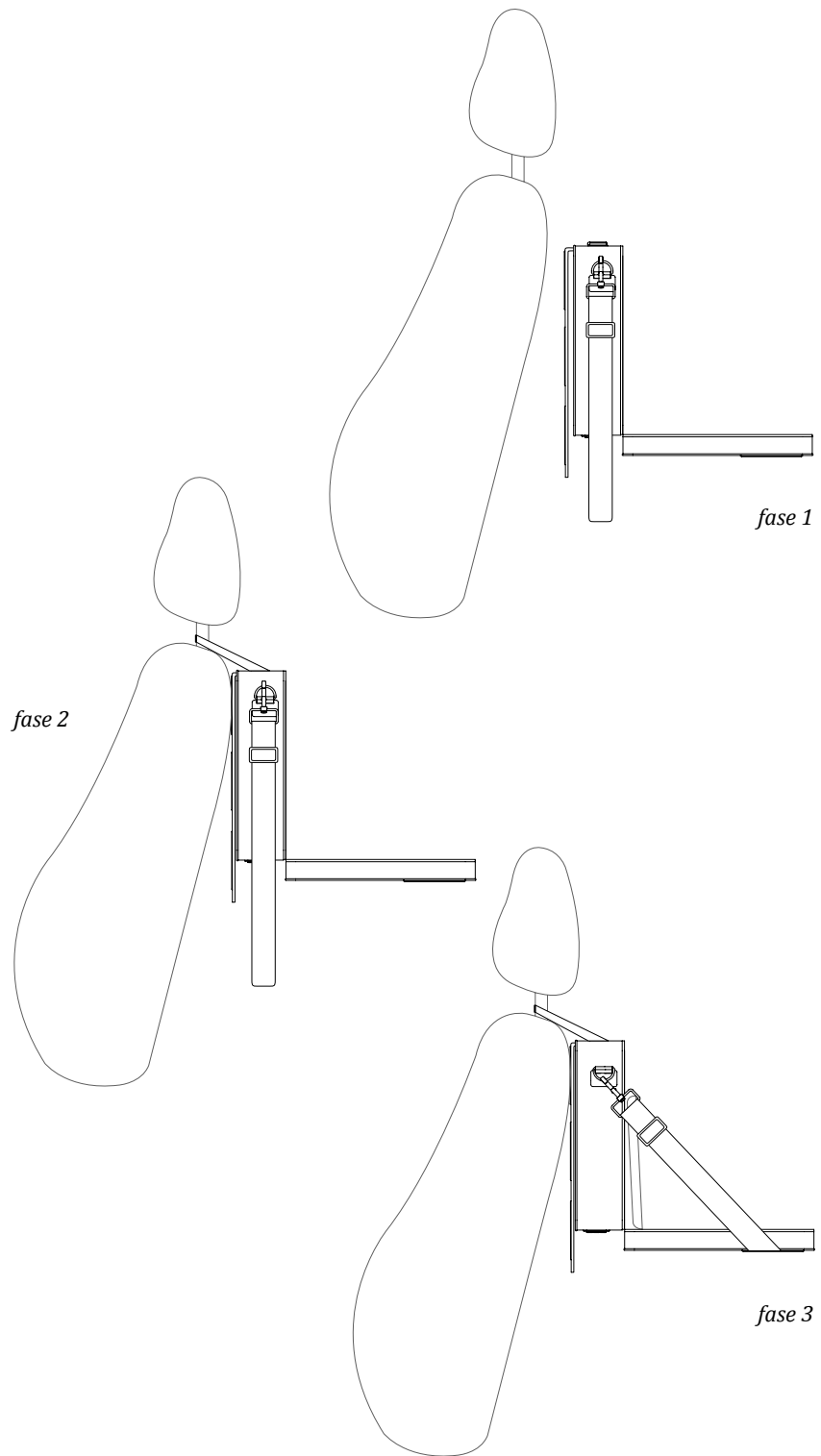


Fig.5.3.2.3 _ Storyboard di utilizzo della borsa: modo d'uso III

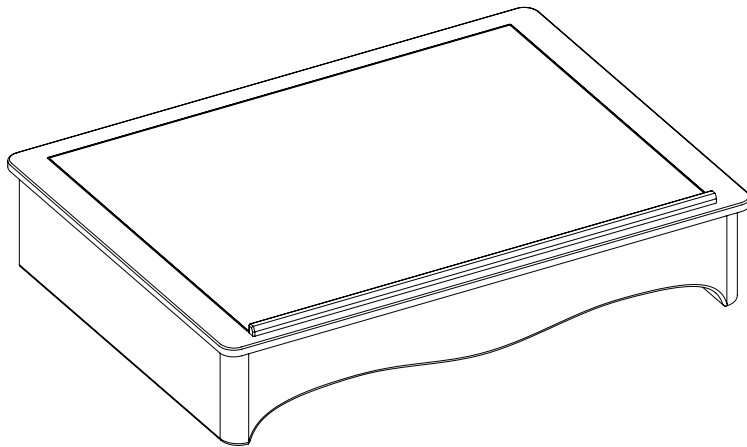


Fig.5.3.2.4 _ Modo d'uso IV

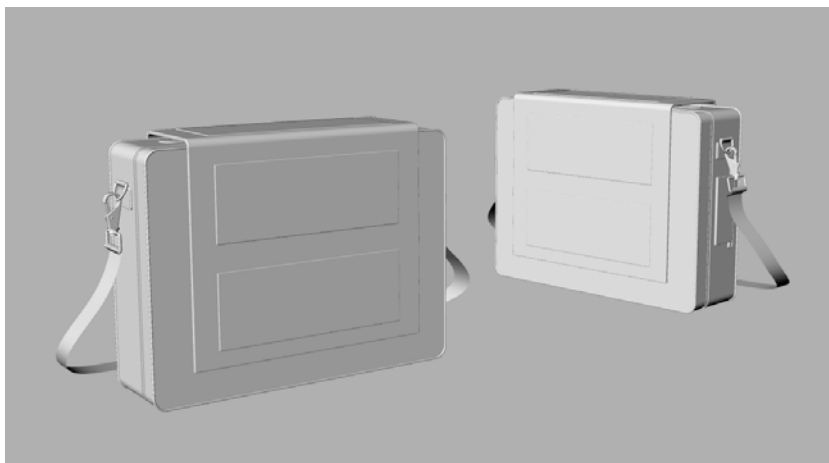


Fig.5.3.2.5 _ Render I



Fig.5.3.2.6 _ Render II

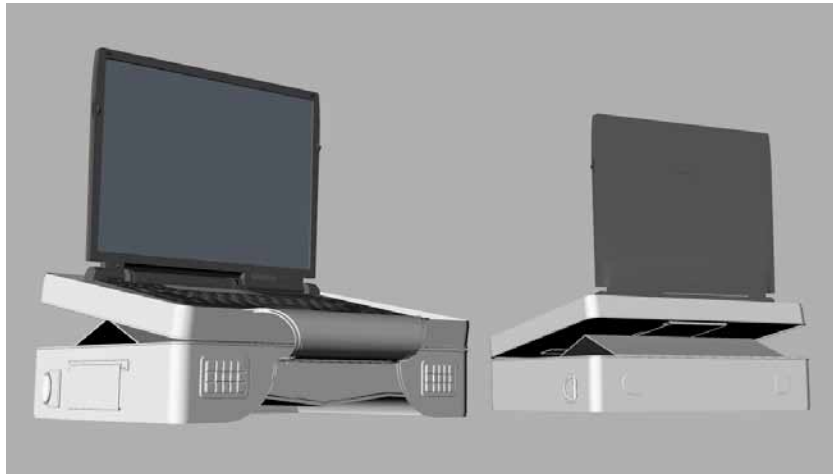


Fig.5.3.2.7 _ Render III



Fig.5.3.2.8 _ Render IV



Fig.5.3.2.8 _ Render V

CONCLUSIONI

L'elaborato di tesi ha avuto come fine quello di progettare delle strutture di supporto per le attrezzature specifiche del Lynx Mobile Mapper. L'obiettivo è stato quello di trovare delle soluzioni che esprimessero un alto grado di funzionalità nella loro installazione e nel loro utilizzo, tenendo in considerazione che lo strumento deve interagire in modo armonico con il sistema uomo-auto.

Le maggiori difficoltà in questo senso sono state rappresentate dalle caratteristiche fisiche di queste apparecchiature, che con le loro dimensioni e peso, hanno portato al concepimento di prodotti molto specifici e tecnici. In ogni caso, in base ai requisiti iniziali, i progetti rispondono coerentemente alle caratteristiche espresse, andando a comporre come delle protesi attraverso cui l'utente-operatore è in grado di usufruire al meglio di tutte le apparecchiature, in modo funzionale e semplice.

I prodotti finali rappresentano però un punto di partenza per una progettazione più completa nel campo specifico dei Mobile Mappers. Essi hanno infatti potenzialità forti di adattamento a differenti vetture ed apparecchiature, ed hanno certamente un margine di miglioramento importante.

Portare a termine dei progetti così specifici ha richiesto un grado di informazione elevato in termini di dati derivanti dal sistema auto. L'acquisizione tridimensionale della macchina, attraverso la tecnologia del Laser Scanning, è stata dunque fondamentale affinché la progettazione risultasse precisa e dettagliata, e soprattutto ben relazionata con il mezzo.

Attraverso le nubi di punti acquisite durante le scansioni, è stato possibile ricreare il modello tridimensionale accurato del Nissan Terrano, che ha permesso di avere tutte le informazioni necessarie per progettare fedelmente i supporti dell'apparecchio.

Questa tecnologia è stata utile soprattutto per la possibilità di avere sempre a disposizione le caratteristiche strutturali e dimensionali della vettura, e poter testare in modo virtuale la coerenza dei prodotti su di essa. Inoltre l'enorme quantità di dettagli e misure estrapolabili dal modello ottenuto, sono stati di grande supporto nella progettazione, definendo così i vincoli fisici dei prodotti.

Sebbene la tecnologia del Laser Scanning sia stato un importante supporto per la progettazione dei prodotti, è opportuno considerare che l'iter di elaborazione, dalla scansione al modello finale, è composto da numerosi step, che hanno rappresentato essi stessi un progetto.

È perciò apprezzabile valutare anticipatamente quelli che sono gli strumenti di progetto, in modo da trovare la soluzione più appropriata per i fini progettuali specifici di ogni caso.

Nel caso dei prodotti di supporto per il Mobile Mapper, il modello tridimensionale della vettura è stato necessario, non solo per fornire le caratteristiche tecniche del mezzo, ma anche per rendere graficamente i progetti nell'ottica della contestualizzazione nel campo del disegno industriale.

Questa tesi ha voluto essere un esempio di applicabilità del Laser Scanner all'interno del Design dei prodotti industriali. Le potenzialità sono molte e possono essere espresse in modo differente da progetto a progetto.

Chiaro è certamente come oggi si stia assistendo ad una continua, e sempre più consistente, digitalizzazione della progettazione, in cui i risultati vengono espressi in termini di modelli virtuali.

Ed è qui dove questa tecnologia ha la possibilità di farsi strada e fornire il supporto entro cui impostare una progettazione coerente e funzionale, creando strumenti di progettazione sfruttabili per lo sviluppo di prodotti specifici.

Fig. 4.1.1

<http://www.ginofinizio.com/index.php?menu=79#gino=3>

Fig. 4.1.2

<http://www.ginofinizio.com/index.php?menu=79#gino=1>

Fig. 4.1.3

<http://www.ginofinizio.com/index.php?menu=80#gino=3>

Fig. 4.1.4

<http://www.ginofinizio.com/index.php?menu=78#gino=2>

Fig. 4.4.1

<http://www.dtssrl.it/prod-dett.asp?c=1&id=70>

Fig. 4.4.2

http://www.peruzzosrl.it/portabici.php?id_tip=4&id=42

Fig. 4.4.3

<http://www.thule.com/en/IT/Products/Bike-Carriers/RoofCarriers/Thule-ProRide-591>

Fig. 4.5.1

<http://eur.burton.com/mens-bags-luggage-packs-f-stop-pack/256143,default,pd.html?start=31&cgid=mens-packs>

Fig. 4.5.2

<http://www.ufficio.com/p/organizzazione-ufficio/3459/sistema-multi-blocco.html>

Fig. 4.5.3

<http://www.swissroombox.com/swissRoomBox-home.html>

Fig. 4.6.1

http://www.newlaunches.com/archives/lg_icecream_netbook_designed_for_in_car_use.php

Fig. 4.6.2

http://www.almove.it/it/prodotti/scheda_prodotto/scrivania-porta-macbook-pro-15

Fig. 4.6.3

http://nicktrincia.com/artwork/755565_Openaire_by_NICK_BEAU.html

CAPITOLO 1

Monografie

G. Guidi, M. Russo, J-A. Beraldin (2010), *Acquisizione 3D e modellazione poligonale* – McGraw-Hill, Milano, Italia

Pubblicazioni

G. Guidi, F. Remondino, M. Russo, F. Menna, A. Rizzi, S. Ercoli (2009), *A Multi-Resolution Methodology for the 3D Modeling of Large and Complex Archeological Areas*, International Journal of Architectural Computing, Volume 7, Numero 1: pp. 39-55 - Multi Science Publishing, USA

C. Fröhlich, M. Mettenleiter (2010), *Terrestrial Laser Scanning – New Perspective in 3D Surfaces* - International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVI – 8/W2, Wangen, Germany

Tesi di laurea

V.A. Girelli (2006), *Tecniche digitali per il rilievo, la modellazione tridimensionale e la rappresentazione nel campo dei beni culturali*, Tesi di Dottorato, Dottorato di ricerca in Scienze Geodetiche e Topografiche, Alma Mater Studiorum – Università di Bologna, Bologna, Italia – rel. G.Bitelli

C. Savi (2002), *Problematiche relative alla costruzione e rappresentazione di superficie a partire da osservazione con Laser Scanner*, Tesi di Dottorato, Dottorato di ricerca in Geodesia e Geomatica, DIIAR (Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture viarie, Rilevamento), Politecnico di Milano, Milano, Italia - tut. R. Brumana, coor. F. Sansò

G. Bassanello (2007), *La tecnica del laser a scansione nel rilevamento di strutture: un caso studio*, Tesi di Laurea Magistrale, Corso di Laurea in Ingegneria Civile indirizzo Strutture, Dip. D.I.S.T.A.R.T., Università degli Studi di Bologna, Bologna, Italia – rel. G. Bitelli, co-rel. L. Vittuari, V.A. Girelli

Siti Internet

<http://www.optech.ca/index.htm>

<http://webs.uvigo.es/grupotf1/>

CAPITOLO 2

Monografie

F. Crosilla, R. Galetto (2003), *La tecnica del laser scanning. Teoria ed applicazioni* – Collana di Geodesia e Cartografia. International Centre for Mechanical Sciences (CISM), Udine, Italia

F. Crosilla, S. Dequal (2006), *Laser scanning terrestre* – Collana di Geodesia

e Cartografia. International Centre for Mechanical Sciences (CISM), Udine, Italia

G. Guidi, M. Russo, J-A. Beraldin (2010), *Acquisizione 3D e modellazione poligonale* – McGraw-Hill, Milano, Italia

Pubblicazioni

E.P. Baltsavias (1999), *A comparison between photogrammetry and Laser Scanning*, ISPR Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 54: pp. 83-94 – Institute of Geodesy and Photogrammetry, Swiss Federal Institute of Technology, ETH-Hoenggerberg, Zurich, Switzerland

F. Remondino, S. El-Hakim (2006), *Image-based 3D Modelling: a review*, The Photogrammetric Record 21 (115): pp. 269-291 – The Remote Sensing and Photogrammetry Society and Blackwell Publishing Ltd. 9600 Garsington Road, Oxford, UK e 350 Main Street Malden, USA

M. Sgrenzaroli, G.P.M. Vassena (2007), *Tecniche di rilevamento tridimensionale tramite laser scanner. Volume I - Introduzione generale* – Starrylink Editrice, Brescia, Italia

Di Jie Shan, Charles K. Toth (2008), *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing* – CRC Press, Boca Raton, USA

B. Riveiro Rodriguez, G. Armesto Gonzalez, H. Gonzalez Jorge, P. Arias Sanchez (2009), *Manuale pratico di modellazione 3D mediante laser scanner terrestre*, Dipartimento di Ingegneria per la ricerca naturale e il medio ambiente, Scuola Tecnica Superiore di Ingegneria Mineraria, Università di Vigo, Vigo, Spagna

Tesi di laurea

C. Savi (2002), *Problematiche relative alla costruzione e rappresentazione di superficie a partire da osservazione con Laser Scanner*, Tesi di Dottorato, Dottorato di ricerca in Geodesia e Geomatica, DIIAR (Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture viarie, Rilevamento), Politecnico di Milano, Milano, Italia - tut. R. Brumana, coor. F. Sansò

G. Bitelli (2002), *Moderne tecniche e strumentazioni per il rilievo dei beni culturali*, Tesi di Dottorato, DISTART, Università degli Studi di Bologna, Bologna, Italia

C. Schiavi (2005), *Il Laser Scanning in Cartografia. Rilievo topografico-fotogrammetrico e rilievo laser scanner: due metodi digitali a confronto*, Tesi di Laura Magistrale, Facoltà di Architettura, Politecnico di Milano, Milano, Italia – rel. F. Guzzetti

J. Tocchetti (2005), *Il rilievo Laser Scanner dell'Architettura: metodologie di acquisizione e trattamento dei dati*, Tesi di Laurea Magistrale, Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Politecnico di Milano, Milano, Italia – rel. C. Monti, co-rel. L. Fregonese

L. Bornaz (2005), *L'analisi ed il trattamento dei dati Laser Scanner Terrestri*, Tesi di Dottorato, Dottorato di ricerca in Geodesia e Geomatica, DIIAR (Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture viarie, Rilevamento), Politecnico di Milano, Milano, Italia – rel. M. Manzino, tut. F. Rinaudo, co-rel. F. Sansò

V.A. Girelli (2006), *Tecniche digitali per il rilievo, la modellazione tridimensionale e la rappresentazione nel campo dei beni culturali*, Tesi di Dottorato, Dottorato di ricerca in Scienze Geodetiche e Topografiche, Alma Mater Studiorum – Università di Bologna, Bologna, Italia – rel. G. Bitelli

S. Guggia (2010), *Laser Scanner 3D per applicazioni Biomediche*, Tesi di Laurea Magistrale, Corso di Laurea in Ingegneria Biomedica, Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi di Padova, Padova, Italia – rel. M.G. Pelizzo, co-rel. S. Bonora

Siti Internet

<http://www.innovmetric.com/polyworks/3D-scanners/home.aspx?lang=en>

<http://www.riegl.com/index.php?id=221>

<http://www.riegl.com/>

<http://www.it.rhino3d.com/>

<http://www.rapidform.com/home/>

CAPITOLO 3

Monografie

F. Crosilla, R. Galetto (2003), *La tecnica del laser scanning*. Teoria ed applicazioni – Collana di Geodesia e Cartografia. International Centre for Mechanical Sciences (CISM), Udine, Italia

G. Guidi, M. Russo, J-A. Beraldin (2010), *Acquisizione 3D e modellazione poligonale* – McGraw-Hill, Milano, Italia

Pubblicazioni

D. Visintini, B. Fico, A. Spangher (2006), *Modellazione 3D dell'ambiente ur-*

bano mediante integrazione di scansioni laser aeree e terrestri: l'esempio del castello di Gorizia – Dipartimento di Georisorse e Territorio, Università degli Studi di Udine, Udine, Italia

J. Roca-Pardiñas, H. Lorenzo, P. Arias, J. Armesto (2008), *From laser point clouds to surfaces: Statical nonparametric methods for three-dimensional reconstruction*, Computer-Aided Design 40: pp. 646-652 – University of Vigo, Department of Statics & Operational Research, Vigo, Spain

G. Guidi, F. Remondino, M. Russo, F. Menna, A. Rizzi, S. Ercoli (2009), *A Multi-Resolution Methodology for the 3D Modeling of Large and Complex Archeological Areas*, International Journal of Architectural Computing, Volume 7, Numero 1: pp. 39-55 - Multi Science Publishing, USA

B. Riveiro Rodriguez, G. Armesto Gonzalez, H. Gonzalez Jorge, P. Arias Sanchez (2009), *Manuale pratico di modellazione 3D mediante laser scanner terrestre*, Dipartimento di Ingegneria per la ricerca naturale e il medio ambiente, Scuola Tecnica Superiore di Ingegneria Mineraria, Università di Vigo, Vigo, Spagna

Tesi di laurea

C. Achille (1999), *Tecnologia Laser Scanner. Dal rilievo architettonico alla costruzione del modello: applicazioni, limiti e prospettive*, Tesi di Dottorato, Dottorato di ricerca in Scienze Geodetiche e Topografiche, DIIAR (Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture viarie, Rilevamento), Politecnico di Milano, Milano, Italia – tut. C. Monti, co-rel. L. Mussio

C. Savi (2002), *Problematiche relative alla costruzione e rappresentazione di superficie a partire da osservazione con Laser Scanner*, Tesi di Dottorato, Dottorato di ricerca in Geodesia e Geomatica, DIIAR (Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture viarie, Rilevamento), Politecnico di Milano, Milano, Italia - tut. R. Brumana, coor. F. Sansò

J. Tocchetti (2005), *Il rilievo Laser Scanner dell'Architettura: metodologie di acquisizione e trattamento dei dati*, Tesi di Laurea Magistrale, Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Politecnico di Milano, Milano, Italia – rel. C. Monti, co-rel. L. Fregonese

L. Bornaz (2005), *L'analisi ed il trattamento dei dati Laser Scanner Terrestri*, Tesi di Dottorato, Dottorato di ricerca in Geodesia e Geomatica, DIIAR (Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture viarie, Rilevamento), Politecnico di Milano, Milano, Italia – rel. M. Manzano, tut. F. Rinaudo, co-rel. F. Sansò

G. Bassanello (2007), *La tecnica del laser a scansione nel rilevamento di strutture: un caso studio*, Tesi di Laurea Magistrale, Corso di Laurea in In-

gegneria Civile indirizzo Strutture, Dip. D.I.S.T.A.R.T., Università degli Studi di Bologna, Bologna, Italia – rel. G. Bitelli, co-rel. L. Vittuari, V.A. Girelli

CAPITOLO 4

Monografie

G. Bosoni, A. Nulli (1997), *Il viaggio abitato* – Mondadori, Milano, Italia

M. Deni (2002), *Oggetti in azione – Semiotica degli oggetti: dalla teoria all'analisi* – Franco Angeli, Milano, Italia

Tesi di laurea

E. Bevilacqua, M. Zanello (1996), *L'architettura di uno spazio in movimento: rivoluzione dei rapporti di un interno automobilistico*, Tesi di Laurea Magistrale, Corso di Laurea in Disegno Industriale, Facoltà del Design, Politecnico di Milano, Milano, Italia – rel. A. Dell'Acqua Bellavitis, co-rel. G. Quartieri, M. Favilla

G. Colombo (1999), *Il concetto di utilità applicato al progetto di un'automobile: definizione di uno spazio abitativo intorno all'uomo*, Tesi di Laurea Magistrale, Facoltà di Architettura, Politecnico di Milano, Milano, Italia – rel. A. Dell'Acqua Bellavitis, co-rel. G. Quartieri

M. Fernicola (1999), *Office Car. Studi di Interior Design per il lavoro mobile*, Tesi di Laurea Magistrale, Corso di Laurea in Disegno Industriale, Facoltà del Design, Politecnico di Milano, Milano, Italia – rel. M. Zini, co-rel. M. Robinson

B. Saredi, R. Tagliarini (1999), *La macchina del tempo – Auto & Ego: storia, stile, ergonomia*, Tesi di Laurea Magistrale, Facoltà di Architettura, Politecnico di Milano, Milano, Italia – rel. A. Dell'Acqua Bellavitis, co-rel. G. Quartieri, M. Favilla

M. Cei, D.E. Colombo (2000), *Bagagli e bagagliaio: la valigia ripensata*, Tesi di Laurea Magistrale, Facoltà di Architettura, Politecnico di Milano, Milano, Italia – rel. A. Dell'Acqua Bellavitis, co-rel. G. Quartieri

M. Cirani, F. Scalmana (2000), *Unità spaziale mobile – prestazioni ergonomiche e qualità sensoriali*, Tesi di Laurea Magistrale, Facoltà di Architettura, Politecnico di Milano, Milano, Italia – rel. A. Dell'Acqua Bellavitis, co-rel. G. Quartieri, M. Favilla

G. Corongiu (2002), *Trasformabilità degli interni dell'auto: dalla seduta al sedile*, Tesi di Laurea Magistrale, Corso di Laurea in Disegno Industriale, Politecnico di Milano, Milano, Italia – rel. G. Finizio, co-rel. L. Formicola

Siti Internet

<http://www.peruzzosrl.it/>

<http://www.omcrop.it/index.htm>

http://www.bianchinscale.it/prodotti/sollevamento_materiali.asp

<http://www.dtssrl.it/index.asp>

<http://www.vitra.com/en-it/range/chairless/>

<http://www.swissroombox.com/swissRoomBox-home.html>

<http://www.thule.com/en/IT>

<http://www.ginofinizio.com/index.php>

<http://www.almove.it>

<http://www.raw-edges.com>

<http://nicktrincia.com/home.html>

<http://www.swissroombox.com>

<http://www.burton.com>

CAPITOLO 5

Monografie

M. Ashby, K. Johnson (2005), *Materiali e design. L'arte e la scienza della selezione dei materiali per il progetto* – CEA, Casa Editrice Ambrosiana, Milano, Italia

F. Tosi (2006), *Ergonomia e progetto* - Franco Angeli, Poli.Design, Milano, Italia

M. Gussoni, O. Parlangeli, F. Tosi (2008), *Ergonomia e progetto della qualità sensoriale* - Franco Angeli, Poli.Design, Milano, Italia

Siti Internet

<http://www.peruzzosrl.it/>

<http://www.thule.com/en/IT>

<http://www.opel.it/flash.html>

<http://www.directindustry.it>

<http://www.samsonite.it/shop-it.htm>

<http://www.tucano.com/it/>

http://www.piquadro.com/it/?gclid=CI_d0prVgrECFYrP3wodpRLz-Q

<http://www.delsey.com/it/>

<http://www.nissan.it/>