

Università degli Studi di Padova

DIPARTIMENTO DI MATEMATICA

CORSO DI LAUREA IN INFORMATICA



Ultimo Tango a Mountain View

Tesi di laurea triennale

Relatore

Prof. Gilberto Filè

Laureando

Tommaso Padovan

ANNO ACCADEMICO 2015-2016

xxxx citazione

— xxxx autore

Dedicato a ... xxxx

Sommario

Il presente documento descrive il lavoro svolto durante il periodo di stage, della durata di circa trecentoventi ore, dal laureando Tommaso Padovan presso l'azienda Vic srl. L'obiettivo principale era esplorare la possibilità di sfruttare gli innovativi dispositivi *Tango* di *Google* per produrre scansioni tridimensionali degli oggetti inquadrati. In primo luogo era richiesta la progettazione e lo sviluppo di una applicazione *mobile Android* dotata di una minimale interfaccia grafica in grado di scannerizzare un oggetto, esportarlo in un formato portatile ed effettuare su quest'ultimo ottimizzazioni ed il calcolo del volume. In secondo luogo era richiesto di massimizzare il riuso delle soluzioni *OpenSource* presenti sul mercato.

xxxx *"Life is really simple, but we insist on making it complicated"*

— xxxx Confucius

Ringraziamenti

Innanzitutto, vorrei esprimere la mia gratitudine al Prof. Gilberto Filè, relatore della mia tesi, per l'aiuto e il sostegno fornitomi durante la stesura del lavoro.

Desidero ringraziare con affetto i miei genitori per il sostegno, il grande aiuto e per essermi stati vicini in ogni momento durante gli anni di studio.

Ho desiderio di ringraziare poi i miei amici per tutti i bellissimi anni passati insieme e le mille avventure vissute.

xxxx

Padova, Sept 2016

Tommaso Padovan

Indice

1	Introduzione	1
1.1	L'azienda	1
1.2	L'idea	1
1.3	Il Prodotto - lato dispositivo	2
1.3.1	Primo prototipo	3
1.3.2	Secondo prototipo: Cloude	3
1.3.3	Terzo prototipo: Samba	4
1.3.4	Perfezionamento di Samba, il prototipo finale	7
1.4	Il Prodotto - lato server	12
1.4.1	Point Cloud Library	12
1.4.2	Generazione mesh	12
1.4.3	Calcolo del volume	13
1.5	Organizzazione del testo	14
2	Processi e strumenti	15
2.1	Processo sviluppo prodotto	15
2.1.1	Sviluppo software Lean	15
2.1.2	Applicazione	16
2.2	Strumenti	17
2.2.1	Codice	17
2.2.2	IDE ed editor	17
2.2.3	Framework	17
3	Studio di fattibilità ed analisi dei rischi	19
3.1	Introduzione al progetto	19
3.2	Analisi preventiva dei rischi	19
3.2.1	Rischi generali	19
3.2.2	Rischi specifici	20
3.3	Studio di fattibilità	21
3.3.1	Preventivo	21
3.3.2	Applicazioni per la registrazione di punti	22
4	Analisi dei requisiti	23
4.1	Casi d'uso	23
4.1.1	UC0: Scenario principale	23
4.1.2	UC1: Avvio di una nuova ricostruzione	24
4.1.3	UC1.1: Registrazione di un singolo Point Cloud	25
4.1.4	UC1.2: Alternanza visione in prima ed in terza persona	25

4.1.5	UC1.3: Alternanza tra il rendering in tempo reale e quello della ricostruzione generata	26
4.1.6	UC1.4: Reset della ricostruzione	26
4.1.7	UC1.5: Invio dati al Server	26
4.1.8	UC1.6: Salvataggio dei dati su disco	26
4.1.9	UC1.7: Visualizzazione statistiche	27
4.1.10	UC1.8: Operazione di undo	27
4.1.11	UC2: Operazioni sulla lista dei Point Cloud salvati	27
4.1.12	UC2.1: Visualizzazione lista dei PointCloud salvati	28
4.1.13	UC2.2: Caricamento di un Point Cloud come ricostruzione attuale	28
4.1.14	UC2.3: Invio al Server di un Point Cloud	29
4.1.15	UC2.4: Eliminazione di un Point Cloud	29
4.1.16	UC2.5: Ritorno all'activity principale	29
4.1.17	UC3: Operazioni sulla lista delle mesh salvate	29
4.1.18	UC3.1: Visualizzazione della lista delle mesh salvate	30
4.1.19	UC3.2: Possibilità di scaricare le mesh elaborate dal Server	31
4.1.20	UC3.3: Visualizzazione grafica delle mesh	31
4.1.21	UC3.4: Eliminazione mesh salvata su disco	31
4.1.22	UC3.5: Ritorno all'activity principale	31
4.1.23	UC4: Localizzazione fallita	32
4.1.24	UC5: Errore connessione assente o errore del Server	32
4.2	Requisiti	32
4.2.1	Requisiti Funzionali	33
4.2.2	Requisiti Qualitativi	36
4.2.3	Requisiti di Vincolo	36
4.2.4	Requisiti Prestazionali	36
5	Progettazione e codifica	39
5.1	Specifica tecnica	39
5.2	Design Pattern utilizzati	39
5.3	Codifica	39
6	Verifica e validazione	41
6.1	Test di Unità	41
6.2	Test di Integrazione	41
6.3	Test di Sistema	41
7	Conclusioni	45
7.1	Prove pratiche	45
7.2	Sviluppi futuri	45
7.2.1	ICP su tablet	45
7.2.2	Integrazione C++/Jni lato tablet	47
7.2.3	Texture dei punti	47
7.2.4	Rimozione artefatti	47
7.2.5	Controllo di forma	47
7.2.6	Integrazione con l'applicazione Vic	47
7.2.7	Ricostruzione continua	48
7.3	Problemi ancora irrisolti	48
7.3.1	Surriscaldamento e consumo della batteria	48
7.3.2	Preview della fotocamera	50

<i>Indice</i>	ix
7.4 Consuntivo finale	50
7.5 Raggiungimento degli obiettivi	50
7.6 Conoscenze acquisite	50
A Appendice A	51
Bibliografia	55

Elenco delle figure

1.1	Point Cloud di un bidone Conico	3
1.2	Un singolo <i>Point Cloud</i>	4
1.3	Motion Tracking	6
1.4	Rappresentazione tramite <i>Point Cloud</i> della stessa scalinata usando <i>voxeling</i> a 10, 25, 50, 100 millimetri.	7
1.5	Il render di Java Point Cloud Example mentre viene inquadrata una cassettera	8
1.6	Le due modalità del render di <i>Samba</i> : in alto la visualizzazione in tempo reale, in basso la visualizzazione della ricostruzione.	9
1.7	Una notifica <i>full-screen</i> di <i>TangoUx</i>	10
1.8	Grafico della coordinate di <i>S</i> rispetto ad <i>O</i> durante la fase di inizializzazione della <i>Drift Correction</i>	12
1.9	Input ed Output del processo di meshing	13
4.1	Use Case - UC0: Scenario principale	24
4.2	Use Case - UC1: Avvio di una nuova ricostruzione	25
4.3	Use Case - UC2: Operazioni sulla lista dei Point Cloud salvati	28
4.4	Use Case - UC3: Operazioni sulla lista delle mesh salvate	30
7.1	Point Cloud che presenta problemi di <i>ghosting</i> di una scatola rettangolare	46
7.2	Point Cloud che presenta problemi di artefatti di un bidone conico, vista laterale	48

Elenco delle tabelle

4.1	Tabella del tracciamento dei requisiti funzionali	35
4.2	Tabella del tracciamento dei requisiti qualitativi	36

4.3	Tabella del tracciamento dei requisiti di vincolo	36
4.4	Tabella del tracciamento dei requisiti di vincolo	37
6.1	Test di sistema	43

Capitolo 1

Introduzione

xxxx (ignorare fino ad 1.1)

Esempio di utilizzo di un termine nel glossario
[Application Program Interface \(API\)](#).

Esempio di citazione in linea
site:agile-manifesto

Esempio di citazione nel pie' di pagina
citazione¹

1.1 L'azienda

VIC è stata fondata da Alessio Bisutti che, dopo aver sviluppato una lunga esperienza nel campo ispettivo, ha deciso di costituire una società in grado di offrire ai propri clienti un servizio professionale, chiaro ed affidabile, appoggiandosi sulle nuove tecnologie. Si occupa di controlli per grandi ordini, sia di materie prime che di semi-lavorati, di cui individua e riporta eventuali danni, carenze nella spedizione e non conformità con quanto ordinato.

VIC iniziò a Venezia 7 anni fa come piccola società di ispezione locale. Fin dall'inizio, l'obiettivo principale di VIC è stata la riduzione del tempo tra ispezione e reporting al cliente. Ora l'obiettivo è raggiunto, perché VIC sta fornendo ai suoi clienti tutti i risultati e le informazioni importanti in tempo reale, senza alcun ritardo, grazie agli investimenti fatti nel campo della tecnologia e delle applicazioni mobili.

VIC è la prima ed unica azienda in campo ispettivo ad offrire un'ampia gamma di servizi tecnologici a completa disposizione dei propri clienti.

1.2 L'idea

Mansioni come determinare la corretta forma, peso, quantità e dimensioni degli oggetti da ispezionare sono tra le più importanti per i controlli effettuati dall'azienda. Gli ispettori possono scattare molte fotografie, prendere appunti e sfruttare la loro

¹womak:lean-thinking.

esperienza per fornire stime accurate; si è manifestata però la necessità di affiancare queste ultime a dei dati quanto più possibile oggettivi e rapidi da ottenere.

Da qui nasce l'idea di fornire agli ispettori uno strumento informatico in grado di effettuare queste stime. Grazie alla ricostruzione computerizzata resa disponibile dai *Tango device* sarà possibile non solo visualizzare su uno schermo il modello 3D del soggetto della ispezione, ma anche ottenere ulteriori vantaggi quali:

- * Avere una stima del volume e quindi del peso della materia prima.

- * Confrontare l'oggetto con un modello ideale, permettendo così un rapido controllo eventuali di danni o deformazioni.

Con il prototipo realizzato durante lo *stage* sono rese disponibili solamente le funzionalità di ricostruzione dell'oggetto e calcolo (approssimato) del volume.

Alcune operazioni sarebbero troppo pesanti per le potenzialità del tablet, quindi è stato realizzato un *backend server* per tutte le elaborazioni delle ricostruzioni, mentre la ripresa delle stesse è affidata all'applicativo per tablet.

1.3 Il Prodotto - lato dispositivo

L'applicazione prodotta risponde, in maniera minimale, alle esigenze citate nel punto precedente.

La sua realizzazione presenta molti punti critici e rischi piuttosto difficili da prevedere. Per questo sono stati realizzati molti prototipi, al fine di escludere vie non percorribili e trovare una soluzione soddisfacente.

Lo scopo principale della applicazione lato tablet è quello di rilevare ed elaborare un corretto *Point Cloud* dell'oggetto che si vuole ispezionare.

Un *Point Cloud* non è altro che una descrizione algebrica di un oggetto tridimensionale ottenuta tramite un insieme, il più possibile fitto, di punti che lo compongono. I dispositivi Tango infatti, grazie al sensore di profondità, cercano di rilevare le triplette di coordinate del maggior numero di punti possibile. Sfruttando questi dati è possibile posizionare dei punti nello spazio in maniera da fornire all'utente una rappresentazione comprensibile dell'oggetto come quella in figura [1.1](#).

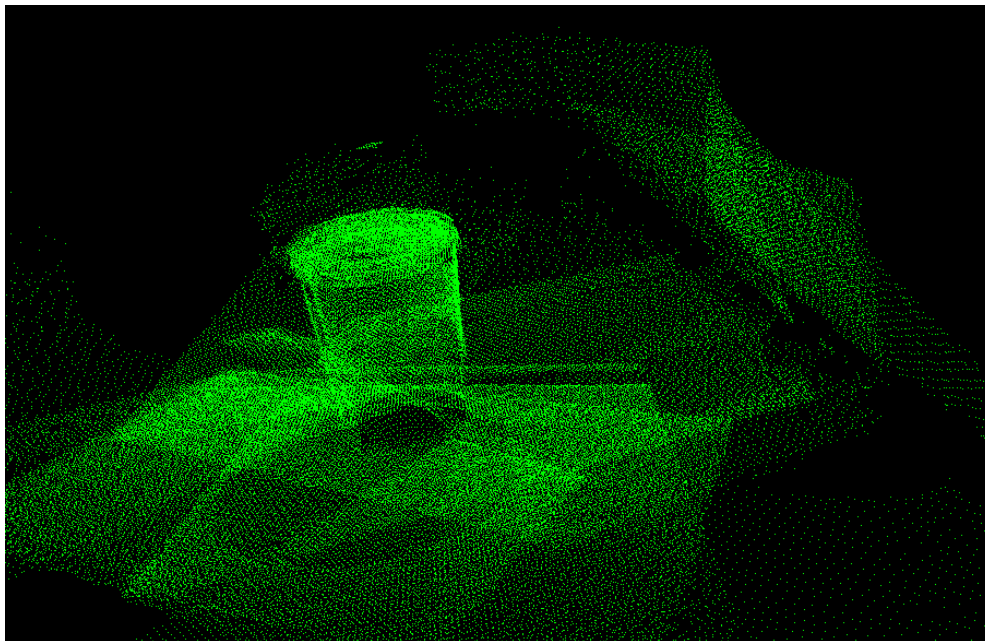


figura 1.1: Point Cloud di un bidone Conico

1.3.1 Primo prototipo

Il primo prototipo realizzato risponde all'esigenza di catturare e salvare in formato leggibile da un *render* grafico i dati forniti dal sensore di profondità. Nella sua semplicità ha dato modo allo studente di testare la stabilità delle *API* e produrre della documentazione interna che riportava quali fossero i metodi delle *API* da utilizzare e quali fossero invece quelli poco stabili, sperimentali o addirittura non ancora implementati dal produttore.

1.3.2 Secondo prototipo: Cloude

Affrontare la discrepanza tra coordinate assolute e coordinate relative

Un solo *Point Cloud* non è sufficiente a ricostruire un oggetto. Ovviamente il dispositivo, registrando la nuvola di punti inquadrata in un determinato istante, riesce a rilevare solamente i punti che "riesce a vedere": i punti presenti nella parte posteriore dell'oggetto scansionato non possono essere "visti" e conseguentemente nemmeno misurati. Se si vuole avere una ricostruzione completa e non solamente di una facciata è necessario prendere più rilevazioni ed integrarle.

Le immagini in figura 1.2 mostrano il *Point Cloud* che descrive la parte anteriore di una scatola rettangolare; dato che la ripresa è stata effettuata da di fronte ed in alto solo le facce superiore ed anteriore sono state memorizzate, mentre delle altre non si hanno dati. I contorni sono stati evidenziati successivamente per permettere una migliore comprensione della forma.

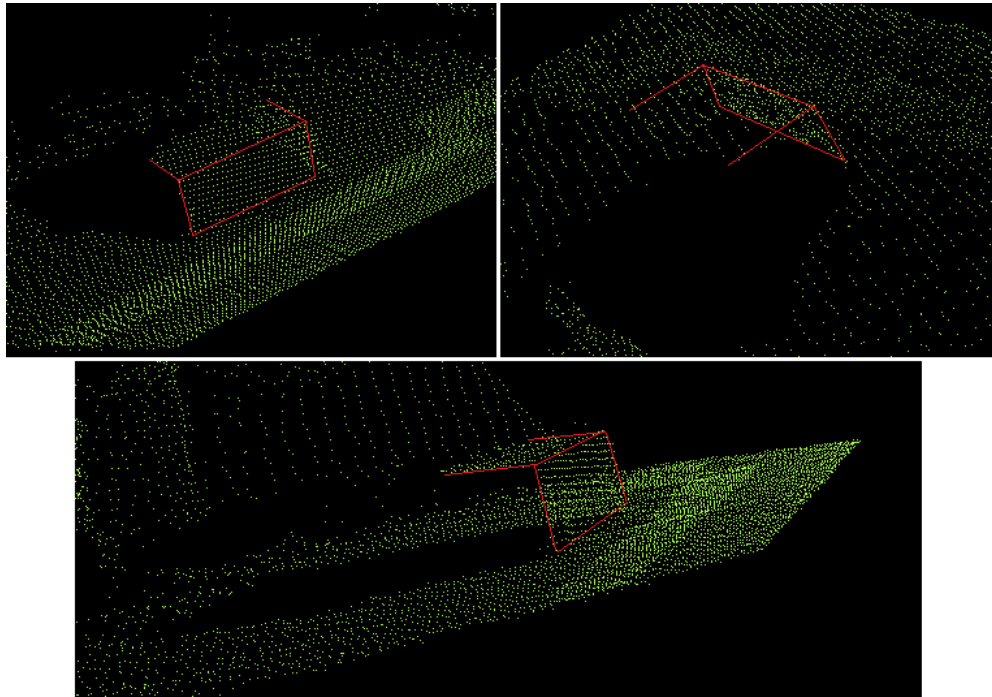


figura 1.2: Un singolo *Point Cloud*

Approccio

Il principale scopo di questo prototipo, denominato *Cloude*, è esplorare una via che porti alla sovrapposizione di diversi *Point Cloud* parziali in una unica nuvola di punti che rappresenti l'oggetto nella sua totalità.

L'approccio che ha portato alla nascita di questo prototipo è il seguente:

- * Permettere all'utente di scattare alcune "foto" all'oggetto, quindi di rilevare diversi *Point Cloud*, questi ultimi però sono tutti parziali, ovvero rappresentano solo una facciata.
- * Associare ad ogni cattura di un *Point Cloud* parziale la posizione e la rotazione del dispositivo.
- * Usare la posizione relativa al *Point Cloud* per traslare e ruotare lo stesso punto a punto, trasformando così le coordinate da relative ad assolute.
- * Le nuvole di punti risultanti sono tutte scritte in coordinate relative allo stesso sistema fissato di assi cartesiani, e sono quindi sovrapponibili le une con le altre.

La sovrapposizione di tutti i *Point Cloud* fornisce una ricostruzione coerente dell'oggetto ripreso che è il prodotto finale di *Cloude*.

1.3.3 Terzo prototipo: Samba

Il prototipo precedente generava delle ricostruzioni riconoscibili, ma piuttosto imprecise. Una analisi dello stesso ha fatto emergere diverse criticità che sono state documentate, assieme alle possibili soluzioni, all'interno di un documento descrittivo. Quest'ultimo è stato alla base dello sviluppo di *Samba*.

Eccessiva complessità dell'elaborazione

Cloude sfrutta un metodo delle librerie *Tango* che trasforma le coordinate di un singolo punto in coordinate assolute fruttando la posizione relativa a cui si trovava il dispositivo, permette di scrivere poco codice, ma ha una elevata complessità. Ciò comporta un sensibile rallentamento dell'elaborazione dei *Point Cloud*. Un *cloud* medio conta intorno ai 90000 punti e con questo approccio richiede mediamente 1,5-2 secondi per essere completamente elaborato, tempo non accettabile per lo scopo per cui l'applicazione è pensata.

In *Samba* è stato cambiato radicalmente approccio:

- * Ad ogni *Point Cloud* viene associata una matrice di trasformazione e non la posizione stessa.
- * In questo modo è sufficiente moltiplicare ogni punto (vettore) per la matrice, che viene calcolata una sola volta per ogni *Point Cloud*.

Si sono così ridotti i tempi di elaborazione da 1,5-2s a circa 200ms (sullo stesso dispositivo).

Bassa qualità delle ricostruzioni

Nelle ricostruzioni generate da *Cloude* gli oggetti appaiono deformati, spesso i vari *Point Cloud* non si sovrappongono correttamente generando fenomeni di *ghosting*, talvolta rendendo addirittura irriconoscibile l'oggetto.

Questo è dovuto ad una scorretta stima della posizione del dispositivo, che induce il calcolo di una erronea matrice di trasformazione, e quindi ad un errato posizionamento delle nuvole di punti all'interno dello spazio.

Il fenomeno in questione è detto "*drifting*": i *device Tango*, esattamente come le più comuni applicazioni in realtà aumentata, utilizzano la tecnica del *Motion Tracking* che consiste nel calcolare la propria posizione frequentemente ed in maniera relativa alla coordinate acquisite nella stima precedente. Per quando queste stime siano estremamente precise generano una catena di piccoli errori che sommati tra loro molto presto portano ad una importante discrepanza tra la posizione stimata dal dispositivo e quella reale. Ad esempio partendo da una determinata posizione e camminando in cerchio è praticamente impossibile che la traiettoria stimata passi nuovamente per il punto di partenza. Ciò è un limite fisico dei dispositivi, ed è nella pratica impossibile da eliminare, in quanto sarebbe necessario azzerare completamente gli errori relativi.

La tecnologia *Tango* però fornisce un altro meccanismo di localizzazione: l'*Area Learning*. Le applicazioni ideate per questo tipo di dispositivi infatti hanno la possibilità di mantenere memoria degli spazi che visitano, e successivamente usare queste informazioni per localizzarsi.

Il meccanismo è piuttosto simile a quello della memoria spaziale umana: una persona portata bendata all'interno di un edificio sconosciuto, una volta liberata, non avrà alcun mezzo per intuire dove si trovi; se invece la stessa persona fosse condotta all'interno della propria abitazione, alla prima sbirciata noterebbe immediatamente qualche particolare che le farebbe immediatamente recuperare l'orientamento.

Allo stesso modo il *tablet* è in grado memorizzare alcune *features* all'interno dell'ambiente ed usarle come faro per la triangolazione.

Memorizzare completamente un ambiente tuttavia è una operazione che richiede parecchio tempo e costringe l'utente a muoversi per diversi minuti inquadrando tutti i dettagli del luogo dove si trova. *Samba*, per rendere l'applicazione maggiormente

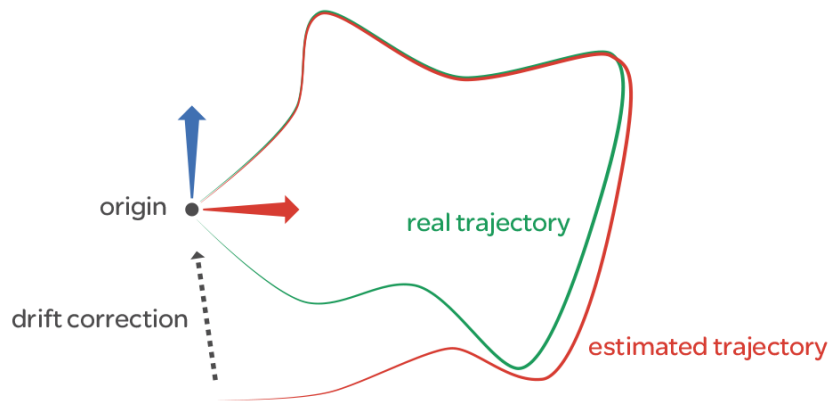


figura 1.3: Motion Tracking

responsiva e più vicina alle esigenze dell'utente, adotta un approccio ibrido detto *Drift Correction*: inizialmente è richiesto all'utente di inquadrare per una ventina di secondi l'ambiente, in maniera da permettere al *tablet* di memorizzare sommariamente l'ambiente, successivamente il *Motion Tracking* è usato per piccoli spostamenti ma viene corretto non appena venga inquadrata qualcuna delle (poche) *features* memorizzate. Trasparentemente all'utente, in background, il processo di *Area Learning* continua, memorizzando sempre nuovi dettagli e conseguentemente aumentando sempre più il livello di conoscenza della stanza in cui ci si trova.

Dimensioni eccessive dei file, ridondanza dei punti sovrapposti

Data la grande mole di punti registrati dai sensori di profondità i *file* contenenti le ricostruzioni generati da *Cloude* sono di dimensione eccessiva, anche più di 10Mb una decina di scatti. Considerando che idealmente gli scatti da riprendere potrebbero essere molti e spesso dovranno essere inviati al *Server* tramite connessione a consumo; la dimensione di questi *file*, quindi, deve essere tenuta sotto controllo.

Inoltre c'è una grossa ridondanza di punti: è comune caso d'uso che una stessa zona venga inquadrata in più scatti, quindi tali *Point Cloud* ruotati ed uniti presenterebbero molti punti con le stesse coordinate e semplicemente sovrapposti, quindi senza dare alcuna informazione aggiuntiva.

Samba risolve questo problema utilizzando un leggero *voxeling*, ovvero suddividendo lo spazio in cubi o *voxel* di lato prefissato e registrando quali sono i *voxel* che contengono i punti della nuvola. Scegliendo una opportuna definizione, ovvero una opportuna dimensione dei *voxel*, si può ottenere una ricostruzione comunque con un buon livello di dettaglio, ma priva di ridondanza dei punti e quindi meno pesante in termini di memoria.

Dopo diverse prove sperimentali è stata scelta una dimensione dei *voxel* pari a 10 millimetri: una definizione più grossolana porterebbe a perdere troppa informazione, mentre *voxel* più piccoli non portano alcun effettivo miglioramento nella qualità dell'immagine.

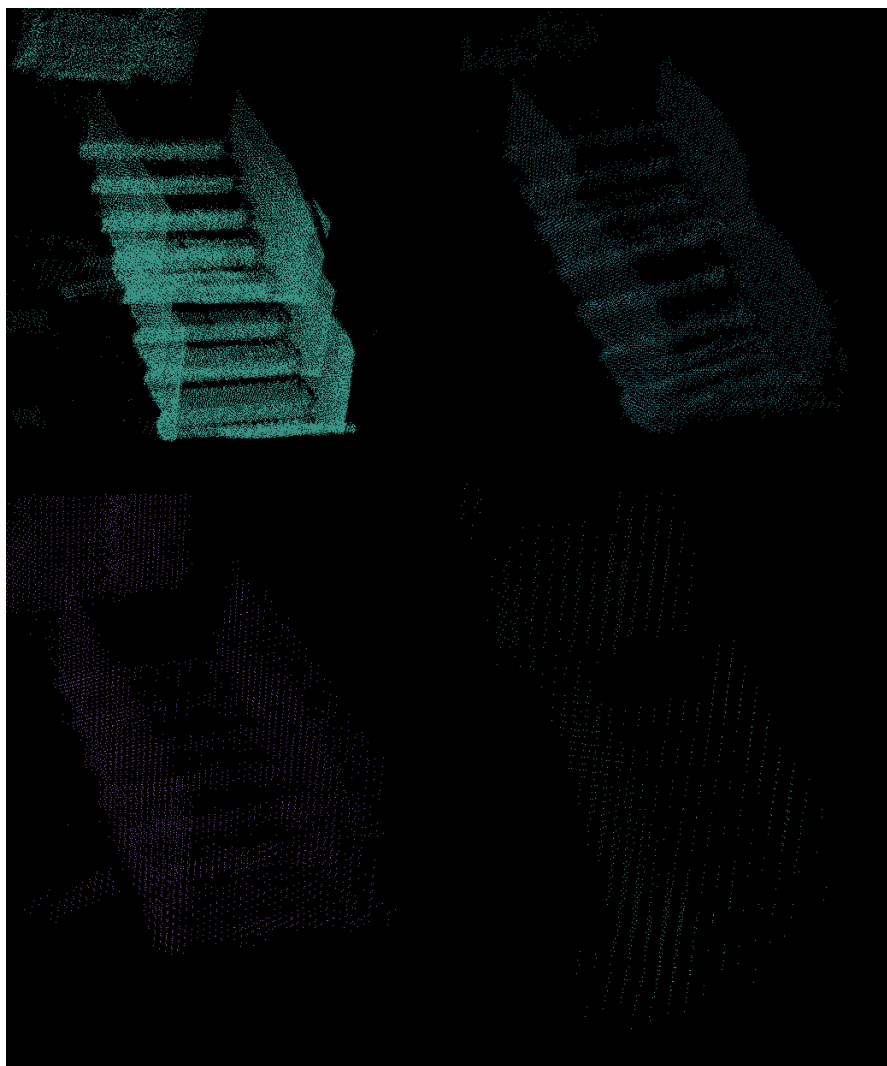


figura 1.4: Rappresentazione tramite *Point Cloud* della stessa scalinata usando *voxeling* a 10, 25, 50, 100 millimetri.

1.3.4 Perfezionamento di Samba, il prototipo finale

Samba, nella sua prima realizzazione, soddisfaceva completamente gli obiettivi fissati per quanto riguarda rilevazione dei punti e ricostruzione degli oggetti, tuttavia è risultato carente nell'interfacciarsi con l'utente.

Quindi è stato pianificato un ulteriore ciclo di affinamento che ha portato al prototipo finale. Segue una breve lista delle principali migliorie.

Preview dell'inquadratura

Inizialmente l'interfaccia mostrava la sola *preview* della fotocamera a colori, ma essa si è rivelata non sufficiente per far comprendere correttamente all'utente ciò che verrà ricostruito. Oltre a non fornire una chiara idea dei punti che verranno registrati non

da la possibilità all'utente di controllare se la ripresa che sta per registrare sia "buona" oppure no.

I *Point Cloud* vengono ricostruiti solamente con i dati del sensore di profondità, il quale sfrutta la tecnologia *infrared* e per questo è soggetto a tutti i limiti fisici di quest'ultima; sono emerse, infatti, grosse difficoltà nel misurare i punti

- * di una superficie molto scura.
- * di una superficie riflettente o particolarmente lucida.
- * all'interno di stanze con illuminazione scarsa o assente.

A volte il problema è insormontabile e la ricostruzione non potrà avvenire con successo, altre è sufficiente trovare una buona posizione per permettere al sensore di effettuare le misurazioni. Questo rende necessario mostrare sullo schermo non solo quello che "vede" la fotocamera, ma anche quello che "vede" il dispositivo *infrared*.

A questo scopo è stata parzialmente riusata una applicazione di prova fornita sotto licenza *Open Source* dalla *Google*² e che utilizza la libreria grafica *Rajawali*³.

Il *render* in questione è molto semplice ma efficace ed aumenta il valore aggiunto dell'applicazione dandole un aspetto gradevole e permettendo all'utente di avere aggiornamenti in tempo reale sul *Point Cloud* inquadrato.

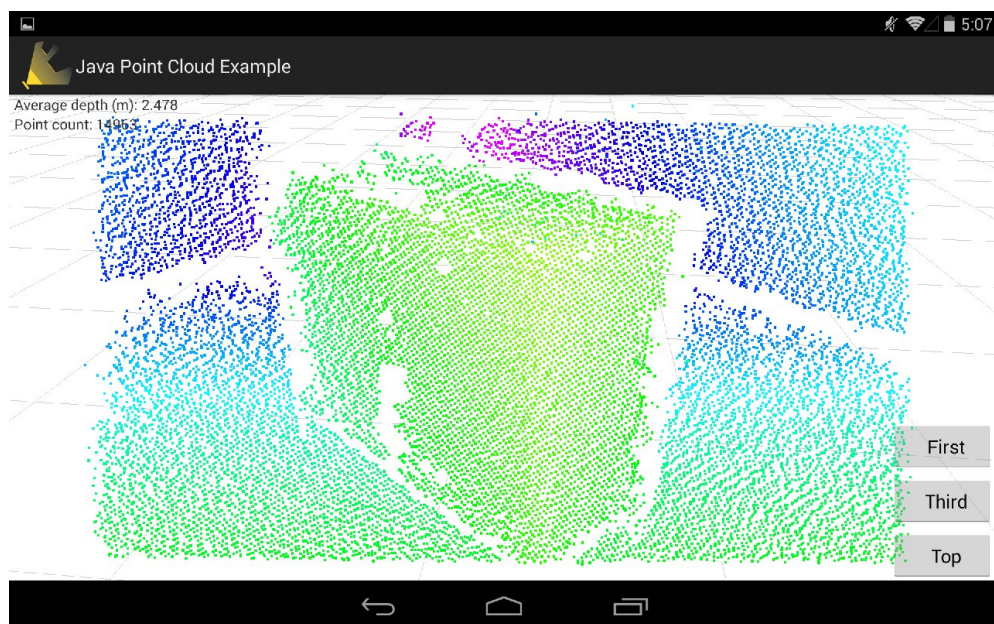


figura 1.5: Il render di Java Point Cloud Example mentre viene inquadrata una cassetteria

Visualizzazione su tablet del *Point Cloud* ricostruito

Con il *render* descritto nel punto precedente è possibile rappresentare ciò che "vede" il sensore di profondità in tempo reale. Questo tuttavia è diventato presto non più sufficiente: mano a mano che si effettua la ripresa, in background viene calcolata la

²GitHub: <https://github.com/googlesamples/tango-examples-java>.

³GitHub: <https://github.com/Rajawali/Rajawali>.

ricostruzione dell'oggetto in analisi, non poterlo visualizzare sul *tablet*, ma solo lato *server* appare quantomeno frustrante e soprattutto non dà la possibilità all'utente di avere una idea dello stato in cui è la ricostruzione.

Per questo si è pensato di sfruttare lo stesso meccanismo di *rendering* per far visualizzare all'utente la ricostruzione che sta effettuando. È quindi stata aggiunta la possibilità di alternare tra la visualizzazione in tempo reale e la visualizzazione dell'intera ricostruzione generata.

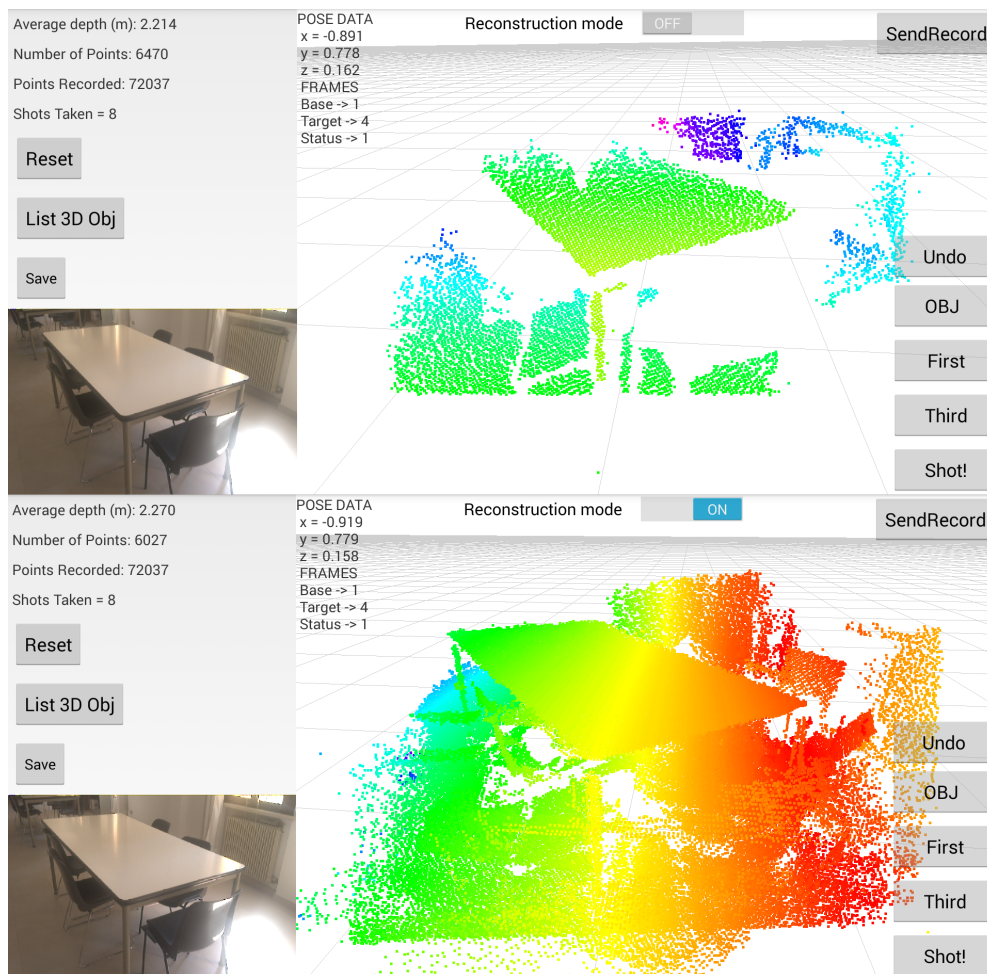


figura 1.6: Le due modalità del render di *Samba*: in alto la visualizzazione in tempo reale, in basso la visualizzazione della ricostruzione.

Aggiunta operazioni di undo

Nonostante gli sforzi per mantenere una alta qualità delle riprese qualcuno dei *Point Cloud* catturati continua a presentare grossi difetti (come errato posizionamento, deformità, grossa presenza di rumore etc). Importante miglioria effettuata in questa fase è stata l'inserimento della possibilità di annullare un certo numero di operazioni; in questo modo le riprese che contengono dei difetti possono essere scartate e ripetute.

Istruzioni per l'utente

Samba, come tutte le applicazioni *Tango*, introduce nuove azioni che l'utente deve compiere per mettere il dispositivo nella condizione di operare al meglio; ed è compito degli applicativi istruire l'utente sul comportamento da tenere.

Ad esempio, durante l'avvio dell'app, l'utente deve avere cura di mantenere il *tablet* in posizione verticale ed il più possibile fermo. Questa, come la maggior parte delle indicazioni, possono essere notificate all'utente tramite un *framework*, *TangoUx*, messo a disposizione dal produttore in grado di integrare segnali e notifiche all'interno del ciclo di vita dell'applicazione stessa.

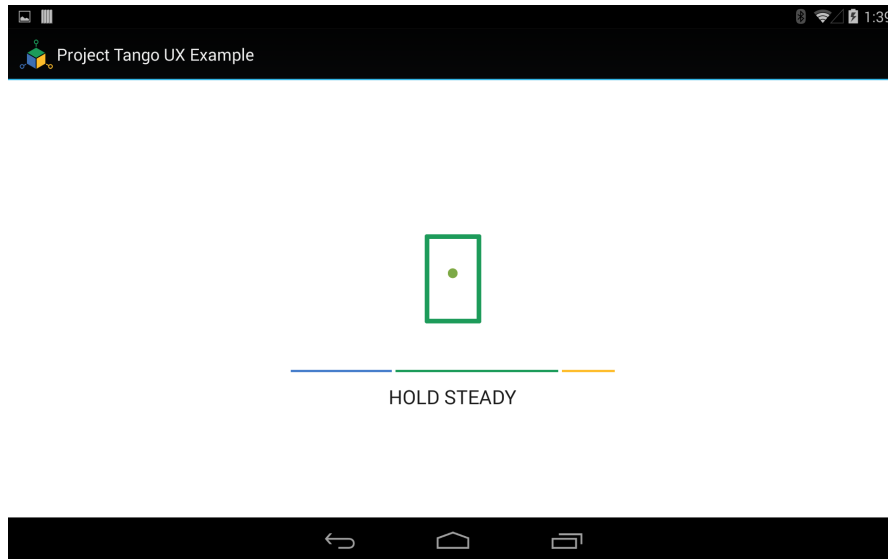


figura 1.7: Una notifica *full-screen* di *TangoUx*

Fanno eccezione le istruzioni che devono essere date all'utente durante la fase di localizzazione. Le *API Tango* non forniscono alcun aiuto per stabilire se il dispositivo si sia orientato o meno. È stato quindi necessario studiare delle euristiche capaci di intuire se il dispositivo "si senta o meno a proprio agio".

Per comprendere la soluzione è necessario prima capire alcuni fatti riguardanti il modo in cui i dispositivi *Tango* attuano l'*Area Learning*.

def 1. Una posizione (o Pose) P è una tripletta di valori x_P , y_P e z_P che rappresenta la distanza con segno tra due Frame Of Reference.

def 2. I Frame Of Reference sono dei punti speciali nello spazio, usati da *Tango* come riferimento. Sono di seguito elencati:

- * *COORDINATE_FRAME_DEVICE*: è la posizione attuale del dispositivo. Ovviamente non è un punto fisso, ma cambia nel tempo a seconda di come si muove il dispositivo. Si chiami questo punto D .

- * *COORDINATE_FRAME_START_OF_SERVICE*: è il punto in cui si trovava il dispositivo quando è stata avviata l'applicazione, è calcolato ad ogni avvio e rimane costante fino a quando l'applicazione rimarrà attiva. Si chiami questo punto S .
- * *COORDINATE_FRAME_AREA_LREARNING*: durante il processo di Area Learning, il sistema *Tango* fissa nell'ambiente un sistema di assi cartesiani proprio dell'ambiente. Questo punto, P , ne è l'origine. Idealmente dovrebbe essere costante.

Ad esempio considerando la distanza tra il *frame* del dispositivo e l'origine del sistema di assi cartesiani fissati da *Tango* durante l'apprendimento dell'ambiente si avrà:

$$P_{O \rightarrow D} = D - O$$

quindi

$$P_{O \rightarrow D} = \begin{pmatrix} x_D \\ y_D \\ z_D \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x_O \\ y_O \\ z_O \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_D - x_O \\ y_D - y_O \\ z_D - z_O \end{pmatrix}$$

Questa *Pose* $P_{O \rightarrow D}$ può quindi essere usata per tracciare i movimenti del *tablet* rispetto all'origine degli assi del piano cartesiano fissato al termine dell'*Area Learning*.

Quindi è solamente necessario stabilire **quando** O sarà correttamente identificato. Per farlo si prenda in considerazione la *Pose* $P_{S \rightarrow O}$, ovvero la distanza con segno tra il punto in cui è stata avviata l'applicazione S ed O .

S come detto è costante, mentre O varierà fino a quando non verrà localizzato; inizialmente si avrà $O = S$ in quanto non si ha alcuna informazione utile per determinare O .

Nel grafico in figura 1.8 sono rappresentate le coordinate x , y e z di $P_{S \rightarrow O}$ per le prime 9000 stime di posizione, ciò copre un lasso temporale di circa un minuto e mezzo a partire dall'avvio dell'applicazione. Il variare di questo genere di *Pose* è stato diviso in tre fasi:

- * Inizialmente la distanza è molto prossima a zero. Prima che avvenga la localizzazione il sistema *Tango* non ha altra scelta che posizionare O nelle stesse coordinate di S .
- * Successivamente avverrà un brusco cambiamento nella distanza tra questi due punti perché tutto d'un tratto il sistema riconoscerà qualche *feature* e sposterà immediatamente l'origine degli assi. Questa fase non è ancora stabile in quanto l'ambiente è ancora in fase di riconoscimento e l'origine O verrà traslata spesso.
- * Una volta riconosciuto correttamente l'ambiente (nella seconda metà del grafico) si può notare che tutte le coordinate si stabilizzano ad una distanza quasi fissa. Da questo momento in avanti si avrà una buona localizzazione e l'utente potrà iniziare la rilevazione.

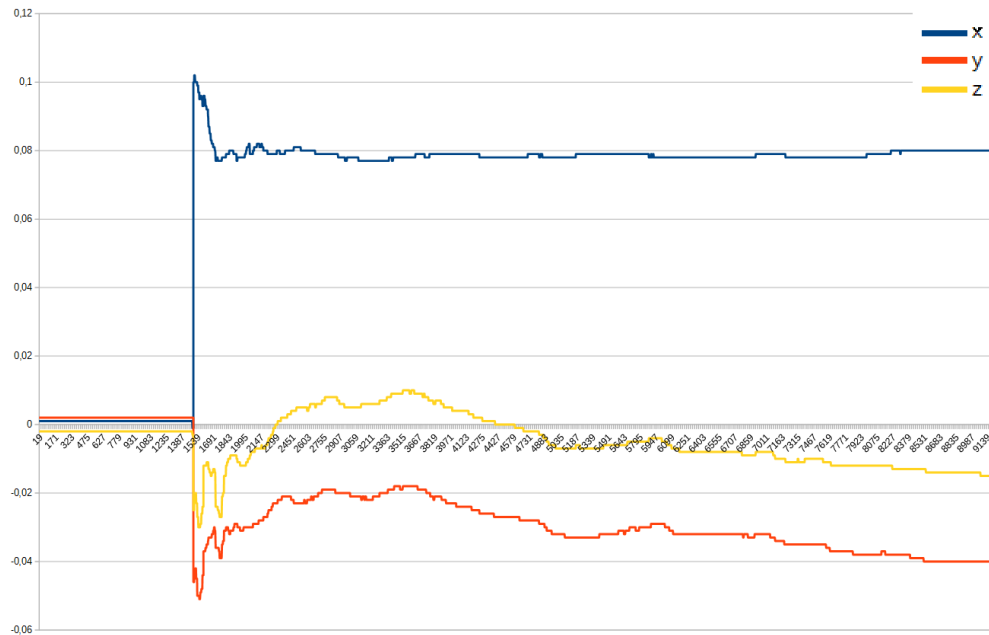


figura 1.8: Grafico delle coordinate di S rispetto ad O durante la fase di inizializzazione della *Drift Correction*

La distanza tra O ed S dovrebbe essere idealmente costante. Si è notato sperimentalmente, però, che non è così: a causa di limiti fisici del dispositivo essa continuerà a fluttuare entro un paio di centimetri di raggio. Ciò a volte può creare qualche piccolo errore nella ricostruzione, ma per oggetti piuttosto grandi esso è trascurabile.

1.4 Il Prodotto - lato server

L'applicazione lato server si occupa di "pulire" la ricostruzione dagli elementi inutili, come ad esempio pavimento, rumore, oggetti di sfondo e convertirla in un formato portatile.

1.4.1 Point Cloud Library

PCL o *Point Cloud Library* è una libreria *Open Source* e *Large Scale* per l'elaborazione di 2D e 3D di immagini e *Point Cloud*. Fornisce diversi filtri ed algoritmi in grado di risolvere molti dei problemi che sono stati riscontrati per quando riguarda l'elaborazione delle ricostruzioni.

L'applicativo lato server fa vasto uso di questa libreria.

1.4.2 Generazione mesh

Per poter elaborare facilmente la ricostruzione ed ottenere un modello portatile è necessario trasformare la nuvola di punti in una *mesh*, ovvero una rappresentazione di un oggetto 3D che consiste in un insieme di facce poligonali, solitamente semplici triangoli. Inoltre tutti i più diffusi formati per oggetti tridimensionali come *obj* e *ply*

sono in grado di rappresentare solamente *mesh*.

Per ottenere una buona riproduzione dell'oggetto l'applicativo applica diversi filtri:

- * **sparse filter / filter radius**: vengono eliminati i punti isolati ed i punti ad una eccessiva distanza dal centro, i quali sono quasi sempre frutto di errori nelle misurazioni.
- * **filter ground**: viene eliminato il pavimento.
- * **voxel filter**: viene effettuata una ulteriore operazione di voxeling allo scopo di ridurre la mole di calcoli e regolarizzare il *Point Cloud*.
- * **cluster extractor**: si cerca di suddividere la ricostruzione nei vari oggetti da cui è composta, dopodiché si mantiene solamente l'oggetto (o *cluster*) che si trova più al centro.
- * **meshing**: i punti rimanenti sono solamente quelli dell'oggetto in analisi. Essi vengono usati per generare la *mesh*.

Al termine di questo processo si ottiene l'oggetto 3D, che può essere convertito nel formato preferito. L'immagine sottostante mostra il processo di elaborazione dell'immagine di una scatola rettangolare. Si possono osservare, da in alto a sinistra ad in basso a destra: la ricostruzione fornita dal *tablet*, il *Point Cloud* risultante da *sparseFilter* e *filterRadius*, l'output della operazione di rimozione del pavimento, il risultato del *voxelFilter*, il *cluster* estratto ed infine la *mesh* dell'oggetto.

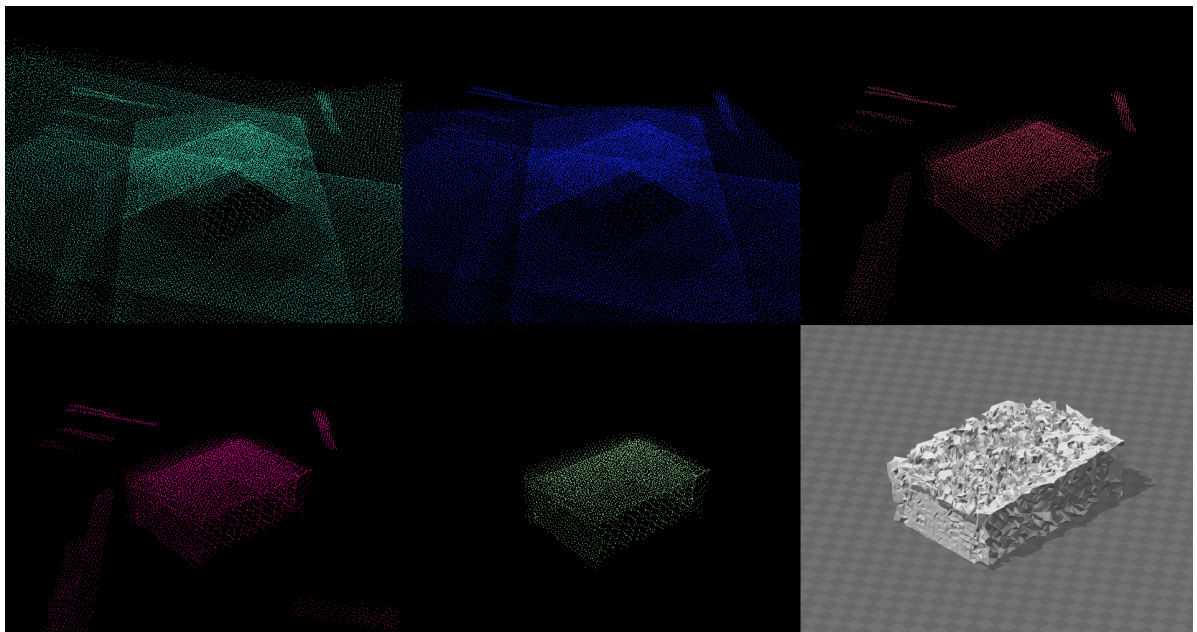


figura 1.9: Input ed Output del processo di meshing

1.4.3 Calcolo del volume

Una volta ottenuta la *mesh* il calcolo del volume è piuttosto immediato. A questo fine è stato sfruttato il risultato di una pubblicazione di *Cha Zhang* e *Tsuhun Chen* dal

titolo *EFFICIENT FEATURE EXTRACTION FOR 2D/3D OBJECTS IN MESH REPRESENTATION*⁴. Il trucco è calcolare, per ogni triangolo che compone la *mesh*, il volume con segno del tetraedro che ha il triangolo stesso come base e il quarto vertice in un punto fissato, scelto internamente alla *mesh*, per evitare eventuali problemi di instabilità numerica. Il segno del volume è dato dalla direzione della normale al piano del triangolo. Questi volumi, sommati tra loro, restituiscono il volume convesso della *mesh*.

1.5 Organizzazione del testo

xxxx

Riguardo la stesura del testo, relativamente al documento sono state adottate le seguenti convenzioni tipografiche:

- * gli acronimi, le abbreviazioni e i termini ambigui o di uso non comune menzionati vengono definiti nel glossario, situato alla fine del presente documento;
- * per la prima occorrenza dei termini riportati nel glossario viene utilizzata la seguente nomenclatura: *parola*^[g];
- * i termini in lingua straniera o facenti parti del gergo tecnico sono evidenziati con il carattere *corsivo*.

⁴site: <http://research.microsoft.com/en-us/um/people/chazhang/publications/icip01'ChaZhang.pdf>.

Capitolo 2

Processi e strumenti

La buona definizione dei processi produttivi è fondamentale per evitare il rischio di fallimento.

2.1 Processo sviluppo prodotto

In ambito aziendale si è scelto di provare, per questo progetto, un processo di sviluppo *software* basato sulla filosofia *Lean*.

2.1.1 Sviluppo software Lean

Lo sviluppo *software Lean* è caratterizzato da cinque eventi principali, chiamati *milestone* descritti di seguito:

Kick-Off

Prima riunione ufficiale del team di progetto, momento iniziale del processo di sviluppo; possono partecipare, su invito del *Lean Project Leader*, anche persone che non fanno parte del team di progetto ma che sono portatori di interessi verso l'iniziativa da sviluppare. Coincide con l'inizio della fase di **allestimento** e **avviamento** in cui viene determinata la natura e lo scopo del progetto.

Concept Preview

Momento in cui è disponibile un primo campione (*concept*, *hardware* e/o *software*) del nuovo prodotto. Il *concept* può essere incompleto e affetto da errori. Rappresenta il concetto principale che andrà a costituire il nuovo prodotto (es. dimensioni, user interface, usabilità). Il *concept* è oggetto di riesame, con lo scopo di valutare se lo sviluppo della progettazione è in linea con gli obiettivi definiti dalla *Value Proposition*. Condizione necessaria al raggiungimento della *milestone* è avere eseguito tale riesame con esito positivo. Coincide con l'inizio della fase di sviluppo della progettazione fino al livello di dettaglio ritenuto opportuno e necessario per l'esecuzione del progetto.

Product Prototype

Momento in cui è disponibile il primo prototipo del nuovo prodotto, completo nelle sue funzioni (sviluppo finito) ma non ancora messo a punto mediante verifiche e correzioni, per garantirne funzionalità e prestazioni. Può essere dato in valutazione a clienti interni o a partner strategici. Condizione necessaria al raggiungimento della *milestone* è aver eseguito un riesame generale della progettazione prima della realizzazione dei prototipi, con lo scopo di valutare se lo sviluppo della progettazione è in linea con gli obiettivi definiti dalla *Value Proposition* e della *Requirements Specification*. Coincide con il termine della fase di progettazione e l'inizio della fase di esecuzione, cioè l'insieme dei processi necessari a soddisfare i requisiti del progetto.

Product Design Freeze

Momento in cui viene definitivamente congelata la progettazione del nuovo prodotto; non sono più ammesse modifiche o aggiunte ai requisiti di prodotto: la *R.S.* è completa e definitiva. I campioni prodotti possono essere dati in valutazione anche ai clienti finali. Il progetto del nuovo prodotto è stato verificato e validato, il processo produttivo è stato completamente definito ma non ancora validato. Condizione necessaria al raggiungimento della *milestone* è aver eseguito un riesame generale della progettazione prima dell'implementazione delle modifiche da apportare al prodotto e alle attrezzature di produzione, conseguenti la fase di verifica, con lo scopo di valutare se lo sviluppo della progettazione è in linea con gli obiettivi definiti dalla *Value Proposition* e della *R.S.*. Coincide il termine della fase di esecuzione e l'inizio della fase di monitoraggio e controllo. Tale fase è formata dai processi attuati per osservare e misurare l'esecuzione del progetto in modo da identificarne per tempo i rischi e i potenziali problemi e intraprendere, quando necessarie, le azioni correttive volte a rimettere il progetto in linea con i propri obiettivi.

Start Of Production (SOP)

Momento a partire dal quale la produzione in serie del nuovo prodotto può iniziare; durante le pre-serie il prodotto realizzato dalla linea produttiva è stato verificato e validato e il processo produttivo e logistico è stato messo a punto, verificato e validato; i codici del nuovo prodotto sono stati attivati; il piano di lancio è stato definito e comunicato. Le *Lesson Learned* sono state prodotte e condivise con i colleghi del Centro di Competenza. Coincide con la fase di completamento. Tale fase prevede l'accettazione formale del prodotto e l'esecuzione di tutte le attività documentali indirizzate a chiudere tutte le pendenze, inclusa l'archiviazione dei documenti e la redazione dei rapporti di chiusura.

2.1.2 Applicazione

Dato che il progetto di *stage* ha durata temporale limitata è stato imposto come obiettivo quello di raggiungere solo la *milestone* denominata *Product Prototype*. Le fasi successive potranno essere svolte in futuro nel caso in cui l'azienda ritenga opportuno proseguire con il progetto.

2.2 Strumenti

L'azienda ha lasciato grande libertà riguardo agli strumenti da utilizzare per questo progetto, quindi essi sono stati fissati inizialmente e successivamente incrementati al crescere delle necessità.

2.2.1 Codice

Segue la lista degli strumenti utilizzati per la codifica.

- * **Java:** Il linguaggio preferito per l'applicazione lato *tablet*. È stato scelto seguendo le *Best Practice* dello sviluppo *Android*.
- * **C++:** Il linguaggio preferito per l'applicazione lato *Server*. È stato scelto perché tutti le più diffuse librerie per l'elaborazione dei *Point Cloud* sono disponibili in questo linguaggio.
- * **PCD, Point Cloud Library:** Una delle librerie di maggior rilievo nel campo della *Computer Vision*, mette a disposizione innumerevoli funzionalità per elaborazione ed ottimizzazione dei *Point Cloud*.
- * **Tango API:** Le *API* ufficiali per lo sviluppo di applicazioni *Tango*.
- * **PHP:** Il linguaggio usato per ricevere ed inviare le richieste *http* quando si necessita comunicazione tra *Server* e dispositivo.

2.2.2 IDE ed editor

Segue la lista degli ambienti per la codifica utilizzati durante il progetto.

- * **Android Studio:** L'*IDE* ufficiale per le applicazioni *Android*.
- * **QT:** L'*IDE* scelto per lo sviluppo del codice *C++*.
- * **Sublime Text 2:** L'*editor* di testo usato per scrivere gli *script php*.

2.2.3 Framework

Segue la lista dei *Framework* usati per durante il tirocinio.

- * **Gradle:** È stato usato come *tool* di *build* per tutta l'applicazione *Android*.
- * **Rajawali3D 1.0.325:** È stato usato come *framework* grafico per la realizzazione del *render*.
- * **OkHttp:** È stata usato come *framework* di riferimento per le richieste *http*.
- * **Jni:** Questo *framework* è stato solamente impostato per sviluppi futuri, permette di implementare metodi *Java* nativamente in *C*. Non è usato nel prototipo presentato.

Capitolo 3

Studio di fattibilità ed analisi dei rischi

Iniziare, quasi da zero, un progetto così impegnativo basandosi su di una tecnologia al limite dell'essere sperimentale espone a gravi rischi di fallimento. Per ciò in questa fase sono state investite molte risorse.

3.1 Introduzione al progetto

Data la natura innovativa del progetto è stato necessario produrre diversi prototipi ed effettuare l'*Analisi dei Rischi* e lo *Studio di Fattibilità* in diverse fasi.

Questo approccio è stato estremamente utile per far emergere rischi dovuti sia alla non piena maturità delle *API*, sia ai limiti fisici del dispositivo in dotazione.

3.2 Analisi preventiva dei rischi

Durante la fase di analisi iniziale sono stati individuati alcuni possibili rischi a cui si potrà andare incontro. Si è quindi proceduto a elaborare delle possibili soluzioni per far fronte a tali rischi.

3.2.1 Rischi generali

1. Immaturità di API/librerie/documentazione

Probabilità: Alta.

Gravità: Media.

Descrizione: Le tecnologie adottate sono innovative e tuttora in fase di sviluppo, molte sono ancora segnalate come "*Sperimentali e soggette a cambiamenti*". Per questo le librerie usate potrebbero rivelarsi instabili o potrebbero mancare di adeguata documentazione.

Contromisure: Iscrizione ai vari canali di segnalazione e supporto offerti da *Google* per gli sviluppatori, sviluppo di piccoli esempi giocattolo per testare le funzionalità offerte dalle *API* da cui è stata generata della documentazione interna.

2. Limiti fisici del dispositivo

Probabilità: Alta.

Gravità: Media.

Descrizione: Il dispositivo è dotato di sensori infrarossi e sfrutta la riflessione della luce per determinare la distanza dei punti che è in grado di individuare. Superfici riflettenti o molto scure possono compromettere la qualità della misurazione, allo stesso modo situazioni di illuminazione scarsa o assente.

Contromisure: Accurata analisi della documentazione fornita dal produttore¹, test preventivi nelle situazioni critiche utilizzando una semplice applicazione di prova fornita da *Google*².

3. Scarsa conoscenza dello sviluppo Android

Probabilità: Alta.

Gravità: Bassa.

Descrizione: La scarsa conoscenza nello sviluppo di applicazioni *Android* può compromettere la buona riuscita del progetto..

Contromisure: Lo studente si è impegnato a documentarsi a riguardo e ha familiarizzato con la documentazione offerta per gli sviluppatori..

3.2.2 Rischi specifici

4. Difficoltà nel Motion Tracking

Probabilità: Media.

Gravità: Alta.

Descrizione: Determinare la posizione e l'orientamento del dispositivo in maniera assoluta è fondamentale per permettere la ricostruzione dell'oggetto inquadrato. Il *device* fornisce ad intervalli regolari la sua posizione tramite una tripletta di coordinate ed la sua rotazione rappresentata come un quaternione. La somma di piccoli errori relativi nella stima della posizione crea un fenomeno detto *drifting* che comporta importanti errori nella stima finale. Questo rischio può portare al fallimento del progetto, in quanto se non opportunamente mitigato renderebbe le ricostruzioni tridimensionali totalmente errate..

Contromisure: Si è per questo deciso di adottare una tecnica denominata *Area Learning*. Il dispositivo quindi riconoscerà alcune *features*, ovvero dei punti fissi, rispetto ai quali determinerà la sua posizione..

5. Necessità di azioni specifiche da parte dell'utente

Probabilità: Alta.

Gravità: Alta.

Descrizione: Tutte le applicazioni che usano la tecnologia *Tango* interagiscono strettamente con i movimenti e la posizione dell'utente. La scarsa diffusione di questa tecnologia fa sì che la maggior parte dell'utenza non sia a conoscenza del comportamento che deve tenere. Azioni compiute dall'utente in maniera scorretta possono compromettere il buon funzionamento dell'applicazione..

Contromisure: Tutto lo sviluppo dell'applicazione deve tenere conto di questo fatto. Devono essere fornite chiare informazioni all'utente e si devono studiare soluzioni che non costringano l'*user* ad un comportamento troppo antiintuitivo..

¹site: <https://developers.google.com/tango/overview/depth-perception>.

²site: <https://github.com/googlesamples/tango-examples-java/tree/master/java'point'cloud'example>.

3.3 Studio di fattibilità

3.3.1 Preventivo

Prima di iniziare il progetto è stato effettuato un accurato studio di fattibilità basato sulla ricerca di progetti con funzionalità simili e sulla lettura delle numerose discussioni e pubblicazioni presenti nel *web* a riguardo di *Project Tango*.

Da esso è emersa la presenza di diverse applicazioni dotate di sottoinsiemi delle funzionalità che si stanno cercando di sviluppare.

Applicazioni per il meshing

Sul mercato sono disponibili diverse applicazioni in grado di effettuare il *meshing* 3D di ambienti, ma non di registrare *Point Cloud*. Alcune di queste sono:

- * **Tango Constructor**³: applicazione rilasciata dal produttore sotto licenza proprietaria.
- * **RTAB-Map**⁴: Applicazione della *introlab* rilasciata sotto licenza *BSD* che fa uso delle librerie native offerte dalla *Google*.
- * **Esempio Google di ricostruzione per Unity**⁵: Esempio rilasciato dal produttore sotto licenza *Apache* per unity e con codice in *C#*.

Queste applicazioni sono ottime in quanto a qualità della ricostruzione, quasi tutte forniscono anche una ottima memorizzazione delle *texture*, ma lavorare con le *mesh* per quanto riguarda rimozione di oggetti di sfondo, pavimento etc appare piuttosto complesso.

Applicazioni per il Motion Tracking / Drift Correction

Ci sono diversi esempi che dimostrano la buona qualità del *Motion Tracking* e della *Drift Correction*. Eccone alcuni:

- * **Tango Blaster**⁶: Una semplice avventura grafica che permette all'utente di spostare il proprio avatar in un ambiente completamente virtuale semplicemente spostando il dispositivo. Questa semplice applicazione dimostra che l'*HardWare Tango* è in grado di tracciare la propria posizione, così come di distruggere orde di robot.
- * **java_motion_tracking_example**⁷: Un esempio fornito sotto licenza *BSD* dalla *Google* che mostra graficamente la differenza tra la posizione stimata usando solamente il *Motion Tracking* e quella corretta con metodi di *Area Learning*.

Queste due applicazioni dimostrano che è possibile usare le *API Tango* per ricavare un buon tracciamento della posizione.

³site: <https://developers.google.com/tango/tools/constructor>.

⁴site: <http://introlab.github.io/rtabmap/>.

⁵site: <https://github.com/googlesamples/tango-examples-unity>.

⁶site: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.projecttango.tangoblaster>.

⁷site: <https://github.com/googlesamples/tango-examples-java/tree/master>.

3.3.2 Applicazioni per la registrazione di punti

Punto centrale di questo studio di fattibilità era trovare evidenze della possibilità di registrare un numero consistente di punti e poi sovrapporli per creare una ricostruzione tridimensionale. Tra le applicazioni studiate le due su cui è stata riposta la maggiore attenzione sono le seguenti (entrambe disponibili nella *repository GitHub* di *GoogleSamples*⁸):

- * **java_point_cloud_example**: Questa applicazione permette di catturare in tempo reale una nuvola consistente di punti e posizionarli nello spazio relativamente alla posizione del dispositivo; fornisce quindi evidenze riguardo alla possibilità di catturare un numero tale di punti da poter essere usati per ricostruire una facciata di un oggetto.
- * **java_point_to_point_example**: Quest'ultimo esempio dimostra invece che i punti possono essere scritti in coordinate "assolute", o meglio rispetto ad un sistema di riferimento fisso indipendente dalla posizione del *device*. Fornisce infatti la possibilità di selezionare due punti tramite la pressione del dito, e poi ne calcola la distanza e rappresenta la retta congiungente nello spazio.

Alla luce dei test sulle applicazioni sopracitate il progetto appare fattibile e quindi è stato possibile dare il via al ciclo di vita del progetto *software*.

⁸site: <https://github.com/googlesamples/tango-examples-java/tree/master>.

Capitolo 4

Analisi dei requisiti

Breve introduzione al capitolo

4.1 Casi d'uso

Per lo studio dei casi d'uso del prodotto sono stati realizzati dei diagrammi. I diagrammi dei casi d'uso (in inglese *Use Case Diagram*) sono diagrammi di tipo [Unified Modeling Language \(UML\)](#) dedicati alla descrizione delle funzioni o servizi offerti da un sistema, così come sono percepiti e utilizzati dagli attori che interagiscono col sistema stesso. Per ogni *use case* sono stati inoltre riportati:

- * Attori Principali
- * Precondizioni
- * Descrizione/flusso degli eventi
- * Postcondizioni

Seguono i diagrammi riguardanti l'applicativo lato *tablet*, ovvero quello di cui mi sono occupato di persona.

4.1.1 UC0: Scenario principale

Attori Principali: Utente.

Precondizioni: L'utente ha avviato l'applicazione su un dispositivo *Tango* ed ha fornito tutti i permessi necessari, ovvero:

- * Area Learning (permesso speciale per dispositivi *Tango*).
- * Lettura e scrittura su disco.
- * Utilizzo fotocamera.
- * Accesso ad internet.

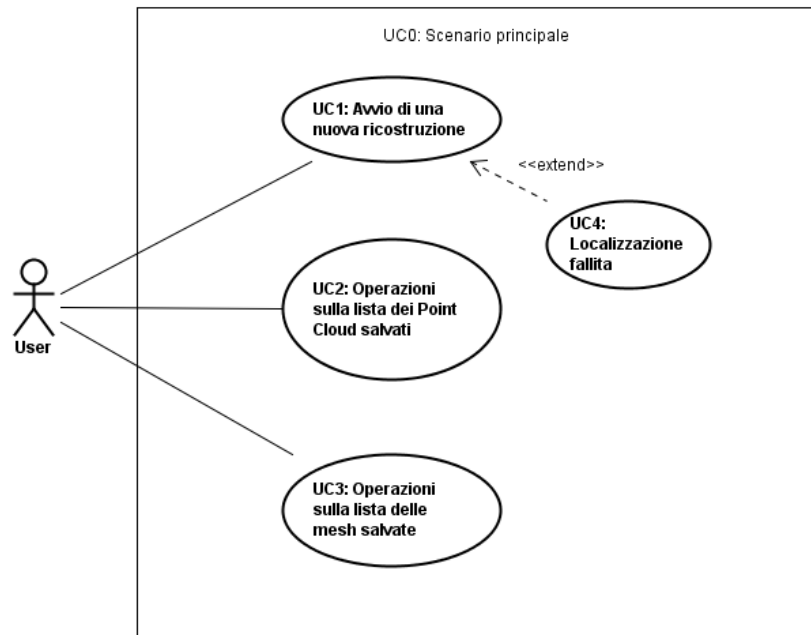


figura 4.1: Use Case - UC0: Scenario principale

Inoltre deve aver avviato l'applicazione in un ambiente sufficientemente illuminato.

Descrizione: La schermata principale, mentre è immediatamente in atto il processo di localizzazione, mette a disposizione il *render* dei punti e tutti gli strumenti per permettere all'utente effettuare la rilevazione e di accedere agli altri menù.

Postcondizioni: Il sistema è pronto per permettere una nuova interazione con l'utente.

4.1.2 UC1: Avvio di una nuova ricostruzione

Attori Principali: Utente.

Precondizioni: L'utente ha aperto l'applicazione ed è rimasto in attesa della localizzazione nella schermata principale.

Descrizione: L'utente ha a disposizione tutti gli strumenti per registrare, controllare e perfezionare la ricostruzione dell'oggetto da ispezionare. Inoltre gli sono forniti i tasti per passare alle altre funzionalità.

Postcondizioni: L'utente ha terminato una registrazione inviandola al *Server*, salvandola su disco, oppure scartandola.

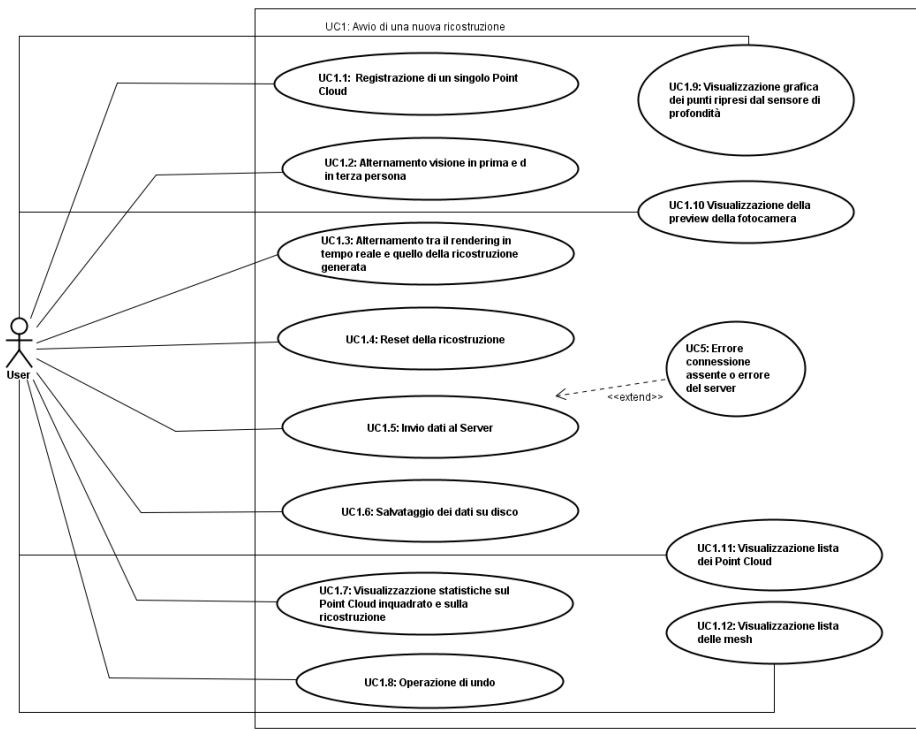


figura 4.2: Use Case - UC1: Avvio di una nuova ricostruzione

4.1.3 UC1.1: Registrazione di un singolo Point Cloud

Attori Principali: Utente.

Precondizioni: L'utente ha aperto l'applicazione, è rimasto in attesa della localizzazione nella schermata principale ed intende registrare un nuovo scatto.

Descrizione: L'utente inquadra il soggetto della rilevazione e preme il tasto "Shot".

Postcondizioni: Il sistema ha catturato il *Point Cloud* inquadrato e l'ha aggiunto alla ricostruzione attualmente in corso.

4.1.4 UC1.2: Alternanza visione in prima ed in terza persona

Attori Principali: Utente.

Precondizioni: L'utente ha aperto l'applicazione, è rimasto in attesa della localizzazione nella schermata principale e sta osservando il *render*.

Descrizione: L'utente, usando i tasti "First" o "Third" alterna tra la visuale in prima ed in terza persona per il *render*.

Postcondizioni: Il *render* mostra sullo schermo i suoi contenuti nella modalità scelta dall'utente.

4.1.5 UC1.3: Alternanza tra il rendering in tempo reale e quello della ricostruzione generata

Attori Principali: Utente.

Precondizioni: L'utente ha aperto l'applicazione, è rimasto in attesa della localizzazione nella schermata principale ed ha già iniziato la rilevazione, avendo quindi salvato in memoria almeno un Point Cloud singolo.

Descrizione: L'utente, usando l'interruttore denominato "Reconstrucion Mode", alterna tra la visualizzazione dei punti attualmente catturati dal sensore di profondità e quella della ricostruzione in corso.

Postcondizioni: Il *render* mostra sullo schermo i contenuti selezionati dall'utente.

4.1.6 UC1.4: Reset della ricostruzione

Attori Principali: Utente.

Precondizioni: L'utente ha aperto l'applicazione, è rimasto in attesa della localizzazione nella schermata principale ed ha intenzione di scartare interamente la rilevazione effettuata fino a quel momento.

Descrizione: L'utente premendo sul pulsante "Reset" azzerà i punti salvati e rende il dispositivo pronto per una nuova rilevazione.

Postcondizioni: Il dispositivo non ha più alcuna ricostruzione in corso ed è pronto ad iniziarne una nuova.

4.1.7 UC1.5: Invio dati al Server

Attori Principali: Utente.

Precondizioni: L'utente ha aperto l'applicazione, è rimasto in attesa della localizzazione nella schermata principale, ha effettuato una rilevazione che lo soddisfa ed intende inviarla al *Server*.

Descrizione: L'utente premendo sul pulsante "Send Data To Server" invia la ricostruzione corrente al *Server* in formato *pcd*.

Postcondizioni: La ricostruzione corrente è stata inviata al *Server*, ma non eliminata dalla memoria. Sarà quindi possibile continuare la rilevazione.

4.1.8 UC1.6: Salvataggio dei dati su disco

Attori Principali: Utente.

Precondizioni: L'utente ha aperto l'applicazione, è rimasto in attesa della localizzazione nella schermata principale, ha effettuato una rilevazione che lo soddisfa ed intende salvarla su disco.

Descrizione: L'utente, premendo sul pulsante "Save" ed inserendo un nome per il *file*, salva la ricostruzione corrente su disco in formato *pcd*.

Postcondizioni: La ricostruzione corrente è stata salvata su disco, ma non eliminata dalla memoria. Sarà quindi possibile continuare la rilevazione.

4.1.9 UC1.7: Visualizzazione statistiche

Attori Principali: Utente.

Precondizioni: L'utente ha aperto l'applicazione, è rimasto in attesa della localizzazione nella schermata principale.

Descrizione: L'utente può consultare le statistiche riguardanti il *Point Cloud* inquadrato e la ricostruzione nell'angolo in alto a sinistra dello schermo. Tali statistiche sono:

- * Numero dei punti attualmente inquadrati.
- * Distanza media dei punti attualmente inquadrati.
- * Numero degli scatti presi fino a quel momento.
- * Numero di punti presenti nella ricostruzione fino a quel momento.
- * *Frame Of Reference* e *Status* della rilevazione.
- * Posizione x , y e z del dispositivo.

Postcondizioni: L'utente ha visualizzato le statistiche.

4.1.10 UC1.8: Operazione di undo

Attori Principali: Utente.

Precondizioni: L'utente ha aperto l'applicazione, è rimasto in attesa della localizzazione nella schermata principale, ha effettuato uno o più *shot* che ritiene errati o di bassa qualità ed intende scartarli.

Descrizione: L'utente, premendo sul pulsante "Undo", scarta l'ultimo *Point Cloud* registrato.

Postcondizioni: L'ultimo *Point Cloud* registrato viene scartato.

4.1.11 UC2: Operazioni sulla lista dei Point Cloud salvati

Attori Principali: Utente.

Precondizioni: L'utente ha aperto l'applicazione ed ha premuto sul pulsante per visualizzare la lista delle ricostruzioni 3D salvate su disco.

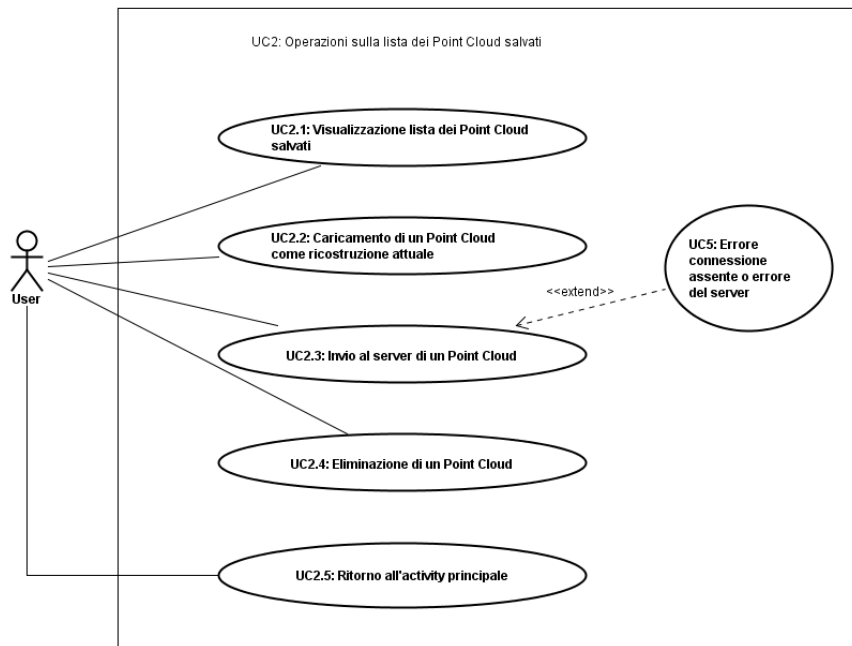


figura 4.3: Use Case - UC2: Operazioni sulla lista dei Point Cloud salvati

Descrizione: L'utente vede sullo schermo la lista delle ricostruzioni 3D salvate su disco su cui può effettuare diverse azioni.

Postcondizioni: Il sistema è pronto per ricevere una nuova interazione.

4.1.12 UC2.1: Visualizzazione lista dei PointCloud salvati

Attori Principali: Utente.

Precondizioni: L'utente ha aperto l'applicazione, ha premuto sul pulsante per visualizzare la lista delle ricostruzioni 3D salvate su disco.

Descrizione: L'utente consulta la lista dei *Point Cloud* salvati su disco.

Postcondizioni: Nessuna.

4.1.13 UC2.2: Caricamento di un Point Cloud come ricostruzione attuale

Attori Principali: Utente.

Precondizioni: L'utente ha aperto l'applicazione, ha premuto sul pulsante per visualizzare la lista delle ricostruzioni 3D salvate su disco ed intende caricare una di queste come ricostruzione attuale.

Descrizione: L'utente, premendo sul nome del *file* scelto, lo carica come ricostruzione corrente.

Postcondizioni: Il sistema ritorna all'*activity* principale (quella degli UC1.*) con la ricostruzione caricata da file come ricostruzione corrente.

4.1.14 UC2.3: Invio al Server di un Point Cloud

Attori Principali: Utente.

Precondizioni: L'utente ha aperto l'applicazione, ha premuto sul pulsante per visualizzare la lista delle ricostruzioni 3D salvate su disco ed ha intenzione di inviare al server uno dei *Point Cloud* salvati.

Descrizione: L'utente applica una lunga pressione sul nome del *file* scelto, apparirà un menù; da quest'ultimo l'utente seleziona "Send To Server" e la ricostruzione sarà mandata al *Server* in formato *pcd*. Generalmente questa funzione viene sfruttata se quando si effettua una rilevazione non si ha immediatamente la possibilità di inviare i dati tramite *Internet*.

Postcondizioni: Il *File* selezionato viene correttamente spedito al *Server*.

4.1.15 UC2.4: Eliminazione di un Point Cloud

Attori Principali: Utente.

Precondizioni: L'utente ha aperto l'applicazione, ha premuto sul pulsante per visualizzare la lista delle ricostruzioni 3D salvate su disco ed ha intenzione di cancellare uno dei *File* salvati.

Descrizione: L'utente applica una lunga pressione sul nome del *file* scelto, apparirà un menù; da quest'ultimo l'utente seleziona "Delete" ed il *File* selezionato viene cancellato.

Postcondizioni: Il *File* selezionato è stato cancellato e non è più presente su disco.

4.1.16 UC2.5: Ritorno all'activity principale

Attori Principali: Utente.

Precondizioni: L'utente ha aperto l'applicazione, ha premuto sul pulsante per visualizzare la lista delle ricostruzioni 3D salvate su disco ma desidera ritornare all'*activity* principale.

Descrizione: L'utente preme sul tasto "Back" e ritorna all'*activity* principale.

Postcondizioni: L'utente ritorna all'*activity* principale.

4.1.17 UC3: Operazioni sulla lista delle mesh salvate

Attori Principali: Utente.

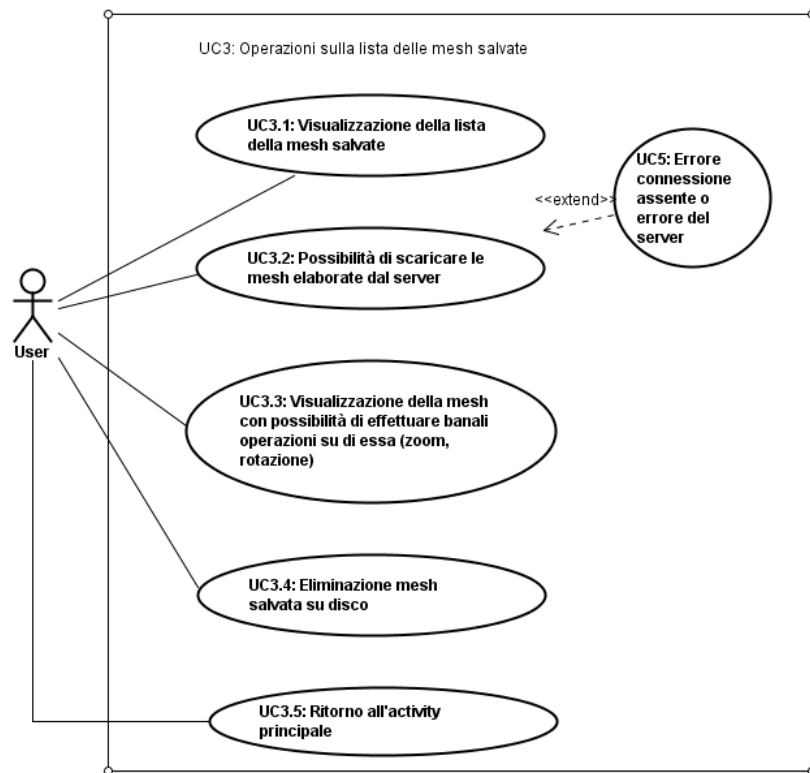


figura 4.4: Use Case - UC3: Operazioni sulla lista delle mesh salvate

Precondizioni: L'utente ha aperto l'applicazione ed ha premuto sul pulsante per visualizzare la lista delle *mesh* salvate su disco.

Descrizione: L'utente vede sullo schermo la lista *mesh* salvate su disco su cui può effettuare diverse azioni.

Postcondizioni: Il sistema è pronto per ricevere una nuova interazione.

4.1.18 UC3.1: Visualizzazione della lista delle mesh salvate

Attori Principali: Utente.

Precondizioni: L'utente ha aperto l'applicazione ed ha premuto sul pulsante per visualizzare la lista delle *mesh* salvate su disco.

Descrizione: L'utente consulta la lista delle *mesh* salvate su disco.

Postcondizioni: Nessuna.

4.1.19 UC3.2: Possibilità di scaricare le mesh elaborate dal Server

Attori Principali: Utente.

Precondizioni: L'utente ha aperto l'applicazione, ha premuto sul pulsante per visualizzare la lista delle *mesh* salvate su disco ed ha intenzione di aggiornare la lista di *mesh* aggiungendo le altre presenti sul *Server*.

Descrizione: L'utente preme sul simbolo di *refresh* in alto a destra e ricarica la lista di *mesh* eventualmente scaricando quelle sul *Server* ma non sul dispositivo.

Postcondizioni: L'utente ha a disposizione una lista aggiornata di *mesh*.

4.1.20 UC3.3: Visualizzazione grafica delle mesh

Attori Principali: Utente.

Precondizioni: L'utente ha aperto l'applicazione, ha premuto sul pulsante per visualizzare la lista delle *mesh* salvate su disco ed intende visualizzare una specifica *mesh* in 3D.

Descrizione: L'utente preme sul nome della *mesh* che intende visualizzare, a questo punto si apre un piccolo ambiente grafico 3D dove l'utente può osservare la ricostruzione ed effettuare banali operazioni di essa.

Postcondizioni: Nessuna.

4.1.21 UC3.4: Eliminazione mesh salvata su disco

Attori Principali: Utente.

Precondizioni: L'utente ha aperto l'applicazione, ha premuto sul pulsante per visualizzare la lista delle *mesh* salvate su disco.

Descrizione: L'utente effettuerà le operazioni necessarie per cancellare la *mesh*.

Postcondizioni: Il *File* selezionato è stato cancellato e non è più presente su disco.

4.1.22 UC3.5: Ritorno all'activity principale

Attori Principali: Utente.

Precondizioni: L'utente ha aperto l'applicazione, ha premuto sul pulsante per visualizzare la lista delle *mesh* salvate su disco ma desidera ritornare all'*activity* principale.

Descrizione: L'utente preme sul tasto "Back" e ritorna all'*activity* principale.

Postcondizioni: L'utente ritorna all'*activity* principale.

4.1.23 UC4: Localizzazione fallita

Attori Principali: Utente.

Precondizioni: Le operazioni di localizzazione non sono andate a buon fine.

Descrizione: L'utente non sarà in grado di procedere alla rilevazione, sarà mostrato un messaggio d'errore.

Postcondizioni: Non può essere effettuata alcuna rilevazione.

4.1.24 UC5: Errore connessione assente o errore del Server

Attori Principali: Utente.

Precondizioni: L'utente cerca di compiere una operazione che richieda comunicazione con il *Server*.

Descrizione: L'utente sarà avvisato del fallimento dell'operazione ma potrà ritentare in seguito.

Postcondizioni: La comunicazione tra dispositivo e *Server* non va a buon fine.

4.2 Requisiti

Da un'attenta analisi dei requisiti e degli use case effettuata sul progetto è stata stilata la tabella che traccia i requisiti in rapporto agli use case.

Sono stati individuati diversi tipi di requisiti e si è quindi fatto utilizzo di un codice identificativo per distinguerli.

Il codice dei requisiti è così strutturato R(F/Q/V)(N/D/O) dove:

R = requisito

F = funzionale

Q = qualitativo

V = di vincolo

P = prestazionale

O = obbligatorio (necessario)

D = desiderabile

Z = opzionale

Nelle tabelle ??, ?? e ?? sono riassunti i requisiti e il loro tracciamento con gli use case delineati in fase di analisi.

4.2.1 Requisiti Funzionali

Requisito	Descrizione	Fonti
RFO-1	L'utente può effettuare una nuova rilevazione	UC1
RFO-1.1	L'utente può riprendere, mediante la pressione di un tasto, il <i>Point Cloud</i> attualmente inquadrato.	UC1.1
RFO-1.2	Il <i>Point Cloud</i> catturato deve essere correttamente aggiunto alla ricostruzione corrente.	UC 1.1
RFO-1.3	L'utente può modificare la visualizzazione del <i>Point Cloud</i> a piacimento e scegliere tra la visualizzazione in tempo reale del sensore di profondità e quella della ricostruzione salvata.	UC1.2, UC1.3
RFO-1.4	Il sistema è in grado di scartare la ricostruzione corrente ed iniziarne una nuova	UC1.4
RFD-1.5	Dopo aver scartato una ricostruzione il sistema è in grado di iniziare la successiva senza dover ripetere le operazioni di localizzazione.	UC1.4
RFO-1.6	L'utente può inviare i dati al <i>Server</i> .	UC1.5, UC2.3
RFD-1.7	Nel caso in cui non sia disponibile la connessione internet mentre l'utente sta cercando di inviare la ricostruzione corrente al <i>Server</i> deve essere mostrato un opportuno messaggio d'errore.	UC1.5, UC5
RFO-1.8	Il sistema può salvare i dati della ricostruzione corrente su disco nella cartella interna dell'applicazione, il formato deve essere <i>pcd</i> .	UC1.6
RFO-1.9	Il sistema deve calcolare in tempo reale le principali statistiche riguardanti: posizione del dispositivo, ricostruzione corrente e nuvola di punti inquadrata.	UC1.7
RFO-1.10	Il sistema deve permettere operazioni di undo	UC1.8
RFO-2	Il sistema deve permettere operazioni sui <i>file pcd</i> salvati su disco.	UC2
RFO-2.1	Il sistema deve essere in grado di fornire la lista di tutti i <i>Point Cloud</i> salvati.	UC2.1
RFO-2.2	Il sistema deve essere in grado di aprire un <i>file pcd</i> e caricarlo come ricostruzione corrente	UC2.2
RFO-2.3	Il sistema deve essere in grado di eliminare un <i>Point Cloud</i> salvato.	UC2.
RFO-2	Il sistema deve essere in grado di permettere operazioni sui <i>file di mesh</i> salvati su disco.	UC3
RFO-3.1	Il sistema deve essere in grado di fornire la lista di tutti le <i>mesh</i> salvati.	UC3.1
RFO-3.2	Il sistema deve essere in grado di dare la possibilità di scaricare le <i>mesh</i> elaborate dal <i>Server</i> .	UC3.2

RFD-3.3	Nel caso in cui non sia disponibile la connessione internet mentre l'utente sta cercando di scaricare la lista di <i>mesh</i> dal <i>Server</i> deve essere mostrato un opportuno messaggio d'errore.	UC3.2, UC5
RFO-4	L'applicazione deve fornire una interfaccia che permetta all'utente di svolgere semplicemente tutte le operazioni riportate nei casi d'uso.	UC0, interna
RFO-4.1	L'interfaccia deve fornire un insieme di pulsanti per permette all'utente di impartire ordini al sistema.	UC1.2 UC1.3 UC1.5 UC1.6 UC1.8 UC1.11 UC1.12 UC2.2 UC2.3 UC2.4 UC2.5 UC3.2 UC3.3 UC3.4 UC3.5
RFO-4.1.1	L'interfaccia deve fornire un pulsante per permettere la registrazione di un singolo <i>Point Cloud</i> .	UC1.1
RFO-4.1.2	L'interfaccia deve fornire un pulsante per permettere di passare con il <i>render</i> dalla visione in prima alla visione in terza persona e viceversa.	UC1.2
RFO-4.1.3	L'interfaccia deve fornire un interruttore per permettere di alternare tra la visualizzazione in tempo reale e quella dell'oggetto ricostruito.	UC1.3
RFO-4.1.4	L'interfaccia deve fornire un pulsante per permettere il reset della ricostruzione.	UC1.4
RFO-4.1.5	L'interfaccia deve fornire un pulsante per permettere l'invio dei dati al <i>Server</i> .	UC1.5
RFO-4.1.6	L'interfaccia deve fornire un pulsante per permettere il salvataggio dei dati su disco.	UC1.6
RFO-4.1.7	L'interfaccia deve fornire un pulsante per permettere le operazioni di undo.	UC1.8
RFO-4.1.8	L'interfaccia deve fornire un pulsante per permettere di passare alla visualizzazione dei file contenenti i <i>ePoint Cloud</i> .	UC1.11
RFO-4.1.9	L'interfaccia deve fornire un pulsante per permettere di passare alla visualizzazione dei file contenenti le <i>mesh</i> .	UC1.12

RFO-4.1.10	L'interfaccia deve fornire un pulsante per permettere il caricamento di un <i>Point Cloud</i> come ricostruzione attuale.	UC2.2
RFO-4.1.11	L'interfaccia deve fornire un pulsante per permettere l'invio al <i>Server</i> di un <i>Point Cloud</i> dall' <i>activity</i> che lista i <i>file pcd</i> .	UC2.3
RFO-4.1.12	L'interfaccia deve fornire un pulsante per permettere l'eliminazione di un <i>Point Cloud</i> salvato su disco.	UC2.4
RFO-4.1.13	L'interfaccia deve fornire un pulsante per permettere il ritorno dalla lista dei <i>Point Cloud</i> all' <i>activity</i> principale.	UC2.5
RFO-4.1.14	L'interfaccia deve fornire un pulsante per permettere di scaricare delle <i>mesh</i> elaborate dal <i>Server</i> .	UC3.2
RFO-4.1.15	L'interfaccia deve fornire un pulsante per permettere di eliminare una <i>mesh</i> salvata su disco.	UC3.4
RFO-4.1.16	L'interfaccia deve fornire un pulsante per permettere il ritorno dalla lista delle <i>mesh</i> all' <i>activity</i>	UC3.5
RFO-4.2	L'interfaccia deve fornire delle statistiche riguardanti il <i>Point Cloud</i> in tempo reale e la ricostruzione corrente.	UC1.7
RFO-4.3	L'interfaccia deve fornire opportuni strumenti per visualizzare dati dei sensori e le varie ricostruzioni in maniera grafica.	UC1.9 UC1.10 UC3.3
RFO-4.3.1	L'interfaccia deve fornire la possibilità di visualizzare sullo schermo del dispositivo la <i>preview</i> della fotocamera a colori.	UC1.10
RFO-4.3.2	L'interfaccia deve fornire la possibilità di visualizzare sullo schermo del dispositivo un <i>render</i> di tipo <i>OpenGL</i> in grado di mostrare <i>Point Cloud</i> .	UC1.9
RFO-4.3.2.1	Il <i>render</i> deve permettere l'operazione di rotazione quando possibile tramite <i>swipe</i> del dito.	UC1.9
RFO-4.3.2.2	Il <i>render</i> deve permettere l'operazione di zoom tramite <i>pinch</i> delle dita.	UC1.9
RFO-4.3.3	L'interfaccia deve fornire la possibilità di visualizzare sullo schermo del dispositivo un <i>render</i> per le <i>mesh</i> 3D.	UC3.3
RFO-4.3.3.1	Il <i>render</i> deve permettere l'operazione di rotazione quando possibile tramite <i>swipe</i> del dito.	UC3.3
RFO-4.3.3.2	Il <i>render</i> deve permettere l'operazione di zoom tramite <i>pinch</i> delle dita.	UC3.3

tabella 4.1: Tabella del tracciamento dei requisiti funzionali

4.2.2 Requisiti Qualitativi

Requisito	Descrizione	Fonti
RQO-1	Separazione tra <i>business logic</i> e interfaccia grafica.	Obiettivi qualitativi interni.
RQO-1.1	Separazione tra gestione del ciclo di vita delle <i>Tango API</i> rispetto al ciclo di vita delle <i>activity</i> .	Obiettivi qualitativi interni.
RQO-1.2	Separazione tra gestione del ciclo di vita del <i>render</i> dei punti rispetto al ciclo di vita delle <i>activity</i> .	Obiettivi qualitativi interni.
RQD-2	Il prodotto deve superare tutti i test di sistema.	Obiettivi qualitativi interni.

tabella 4.2: Tabella del tracciamento dei requisiti qualitativi

4.2.3 Requisiti di Vincolo

Requisito	Descrizione	Fonti
RVO-1	L'applicazione deve essere pienamente compatibile con il sistema <i>Android</i> ed i dispositivi <i>Tango</i> .	Decisioni interne.
RVO-2	L'applicazione deve essere pienamente disponibile in lingua Inglese.	Decisioni interne.

tabella 4.3: Tabella del tracciamento dei requisiti di vincolo

4.2.4 Requisiti Prestazionali

Requisito	Descrizione	Fonti
RPO-1	Le operazioni di ricostruzione e visualizzazione del <i>Point Cloud</i> devono essere svolte efficientemente	Richiesta committe
RPO-1.1	L'elaborazione del <i>Point Cloud</i> deve essere svolta in un tempo finito e senza grosse variazioni tra una rilevazione e l'altra.	UC1.1
RPD-1.2	L'elaborazione del <i>Point Cloud</i> deve essere sufficientemente ottimizzata da poter permettere almeno 5-6 catture al secondo.	UC1.1

RPD-1.3	Il cambio di modalità del render deve essere effettuato senza <i>delay</i> in quanto è una operazione molto frequente durante la rilevazione.	UC1.2 UC 1.3
RPD-2	I <i>file</i> e le strutture dati utilizzate per salvare e spedire le ricostruzioni ed i singoli <i>Point Cloud</i> devono essere ottimizzati.	Richiesta commit- tente analisi dei rischi
RPD-2.1	I <i>file pcd</i> generati devono essere di dimensioni ridotte e non devono presentare punti uguali ripetuti.	UC1.5 UC1.6 UC2
RPD-1.2	I pacchetti da inviare al <i>Server</i> devono essere di dimensioni adeguate e il <i>file</i> da inviare deve essere diviso e non essere inviato tutto in una volta.	UC 1.6 UC2.3 UC3.2
RPD-2	Il <i>render</i> dei <i>Point Cloud</i> deve presentarsi fluido, non scattoso e rappresentare sempre quello che il dispositivo sta inquadrando momento per momento.	UC1.9
RPD-3	Il <i>render</i> delle <i>mesh</i> deve presentarsi fluido e non scattoso.	UC3.3
RPD-4	L'interfaccia deve essere sempre responsiva e non bloccarsi mentre c'è una elaborazione in corso.	Richiesta commit- tente

tabella 4.4: Tabella del tracciamento dei requisiti di vincolo

Capitolo 5

Progettazione e codifica

Breve introduzione al capitolo

5.1 Specifica tecnica

Namespace 1

Descrizione namespace 1.

Classe 1: Descrizione classe 1

Classe 2: Descrizione classe 2

5.2 Design Pattern utilizzati

5.3 Codifica

Capitolo 6

Verifica e validazione

6.1 Test di Unità

XXXX

6.2 Test di Integrazione

XXXX

6.3 Test di Sistema

Data la natura prototipale del progetto ai test di Sistema è stata riservata una grande attenzione. Durante lo sviluppo dei prototipi giocattolo e comunque durante tutta la fase di progettazione e ed ideazione è stata continuamente incrementato un documento nella *wiki* interna all'azienda al fine di immagazzinare lì tutti i test di sistema che devono essere soddisfatti prima di ritenere "buono" un prototipo. Segue la lista di tutti i Test di Sistema con relativo stato di soddisfacimento o meno.

Test	Descrizione	Stato
TS1.0	L'app al primo avvio deve mostrare la richiesta di permessi per l' <i>area learning</i> .	Success.
TS1.1	L'app deve caricare correttamente il render dei punti, il quadratino della telecamera e tutta l' <i>UI</i> .	Success.
TS1.2	Il pulsante " <i>List 3D object</i> " deve portare alla corretta <i>activity</i> .	Success.
TS1.3	Il pulsante " <i>OBJ</i> " deve portare alla corretta <i>activity</i> .	Success.
TS2.0	All'avvio di <i>PointCloudActivity</i> deve comparire lo <i>splash screen</i> di Tango.	Success.
TS2.1	Segue la fase di localizzazione in cui l'utente non dovrebbe poter scattare foto e deve essere mostrato un avviso fintantoché la localizzazione non sarà avvenuta.	Success.

TS2.2	A localizzazione avvenuta deve venire mostrato un avviso contenente la precisione stimata della localizzazione.	Success.
TS3.0	La <i>preview</i> della fotocamera deve mostrare correttamente quello che inquadra.	Success.
TS3.1	La <i>preview</i> deve essere sempre disponibile nell' <i>activity</i> principale. (nelle versioni precedenti a causa di un bug a volta la fotocamera non era disponibile se ci si ritornava all' <i>activity</i> principale da un'altra <i>activity</i> .)	Fallito.
TS4.0	Nello schermo deve essere disponibile il rendering dei punti attualmente visualizzati dal dispositivo <i>Tango</i> . Deve aggiornarsi in tempo reale e non effettuare salti o particolari fluttuazioni.	Success.
TS4.1	Mediante <i>toggle</i> dell'interruttore " <i>Reconstruction mode</i> " deve essere possibile visualizzare gli <i>shot</i> catturati fino a quel momento e tornare indietro alla visione standard.	Success.
TS4.2	Con i pulsanti " <i>third person</i> " e " <i>first person</i> " deve essere possibile passare dalla visione in prima a quella in terza persona.	Success.
TS4.3	Con <i>pinch/swipe</i> deve essere possibile cambiare zoom/orientamento del <i>rendering</i> (orientamento solo in terza persona).	Success.
TS4.4	Premendo il tasto " <i>shot</i> " il sistema deve rilevare e salvare i punti ruotati secondo l'orientamento/posizione del dispositivo.	Success.
TS4.5	Dopo un fissato numero di <i>shot</i> si deve attivare il servizio di <i>voxeling</i> . La ricostruzione visualizzata apparirà infatti più rada.	Success.
TS4.6	Premendo il tasto " <i>undo</i> " deve essere sempre disponibile quella operazione. (Almeno una).	Success.
TS4.7	Le operazioni di " <i>shot</i> " e " <i>undo</i> " devono modificare correttamente numero di <i>shot</i> presi e numero di punti salvati.	Success.
TS4.8	Dopo un certo numero di <i>shot</i> scattati ad un oggetto esso deve apparire ben formato quando ricostruito.	Success.
TS4.9	Premendo il tasto " <i>reset</i> " deve essere possibile eliminare il <i>Point Cloud</i> attualmente registrato ed iniziarne uno nuovo.	Success.
TS5.0	I pulsanti devono essere tutti correttamente funzionanti.	Success.
TS5.1	La <i>dashborad</i> deve contenere: punti visualizzati, distanza media, posizione <i>x</i> , <i>y</i> e <i>z</i> , <i>frames-of-reference</i> .	Success.
TS5.2	I valori della <i>dashboard</i> devono essere aggiornati correttamente in tempo reale.	Success.

TS6.0	Una volta memorizzato una ricostruzione a <i>Point Cloud</i> (come nel test 4) deve essere possibile salvarlo con in tasto " <i>save</i> " ed inserendo un nome per il <i>file</i> .	Success.
TS6.1	Premendo " <i>list 3d object</i> " deve apparire la lista dei <i>Point Cloud</i> precedentemente salvati.	Success.
TS6.2	Ognuno di questi <i>file</i> deve poter essere caricato in memoria ed eliminato dal disco.	Success.
TS7.0	Premendo il tasto " <i>send record</i> " l' <i>app</i> deve inviare l'oggetto attualmente in costruzione al <i>Server</i> .	Success.
TS7.1	Premendo il tasto " <i>OBJ</i> " l' <i>app</i> deve visualizzare la lista delle <i>mesh</i> attualmente disponibili sul <i>Server</i> .	Success.
TS7.2	Da questo menù deve essere possibile selezionarne una per visualizzare ricostruzione e volume.	Success.
TS7.3	Deve essere anche possibile cancellare la <i>mesh</i> .	Success.

tabella 6.1: Test di sistema

Capitolo 7

Conclusioni

Al di là del formalismo informatico, lo scopo principale di questo progetto era indagare sul possibile uso della tecnologia *Tango* nel campo ispettivo come effettivo supporto allo studio di beni materiali. Il prototipo realizzato sembra confermare che ciò è possibile.

I risultati ottenuti sono stati piuttosto soddisfacenti e con qualche raffinamento appare possibile inserire l'applicazione in un contesto produttivo.

7.1 Prove pratiche

Il prototipo prodotto è stato testato in numerosi ambienti e su diversi oggetti. Nella quasi totalità dei casi i risultati sono stati più che sufficienti per quanto riguarda la qualità del *Point Cloud* ricostruito.

Per quanto riguarda invece il calcolo del volume i risultati non sono ancora totalmente sufficienti: il volume ottenuto è sempre dello stesso ordine di grandezza del volume reale, ma spesso è affetto da un errore relativo tra il 30 ed il 50% ed un errore del genere non è affatto tollerabile. Tale divario però è facilmente appianabile migliorando la qualità delle elaborazioni dei *Point Cloud* e delle *mesh* lato *Server*.

7.2 Sviluppi futuri

Il progetto è nato molto recentemente, dopo circa due mesi di sviluppo è stato prodotto un prototipo soddisfacente. Molti dei problemi riscontrati durante il percorso di *stage* sono stati risolti, grazie ai prototipi e alle prove pratiche sono state molteplici anche le idee per rendere l'applicazione ancora più completa. Riporto qui solo alcune di queste.

7.2.1 ICP su tablet

Uno più gravi problemi delle ricostruzioni 3D effettuate tramite sovrapposizione di *Point Cloud* è il *ghosting*. Si tratta dello sdoppiamento di alcune "facce" dell'oggetto ricostruito.

Nell'esempio in figura 7.1 sono stati evidenziati in verde gli spigoli corretti di una scatola rettangolare, mentre con colore rosso quelli dovuti al *ghosting*; si può chiaramente notare che le facce laterali appaiono sdoppiate e ciò può portare a significativi errori nella ricostruzione dell'oggetto e soprattutto nel calcolo del volume.

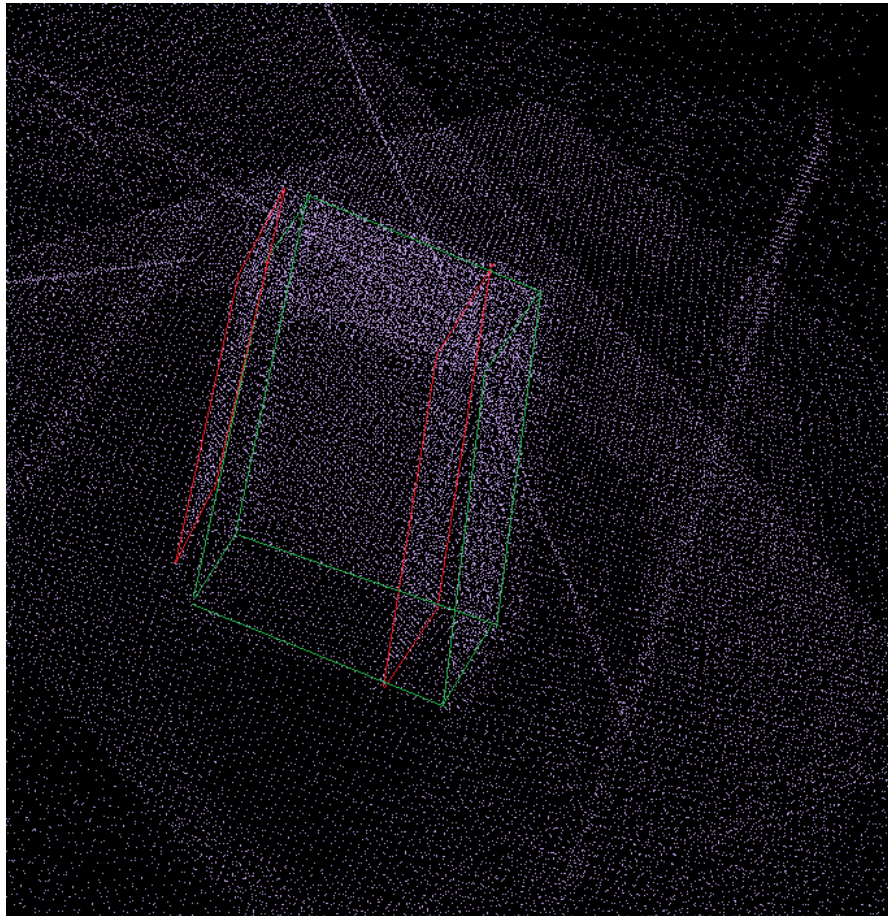


figura 7.1: Point Cloud che presenta problemi di *ghosting* di una scatola rettangolare

Questo fenomeno è dovuto ad errori di stima nella posizione del dispositivo, e per quanto si cerchi di ridurli essi rimarranno sempre. Si tratta di un altro limite fisico dei dispositivi *Tango*, che in questo caso è aggirabile.

ICP o *Iterative Closest Point* è un algoritmo che cerca di minimizzare le differenze tra due nuvole di punti. Applicando *ICP* su due *Point Cloud* che non si sovrappongono perfettamente permetterebbe di ottenere una matrice di trasformazione da applicare ad uno dei due per farlo combaciare all'altro. L'algoritmo in questione ha molte implementazioni in *C++*, tra cui una presente proprio all'interno della libreria *PCD* utilizzata lato *Server*. Questo fatto ha dato modo di testare la sua effettiva efficacia. Il problema è che spedire ogni singola ripresa al *Server* ed aspettare una risposta sembra una strada non percorribile: per una rilevazione intera servono più di 20 riprese, senza connessione internet il servizio non sarebbe disponibile etc.

Per questo un possibile sviluppo futuro potrebbe essere quello di implementare *ICP* lato *tablet*. Ci sarebbe due vie percorribili: importare una delle tante implementazioni in *C++* ed accedervi dal codice *Java* mediante *JNI* oppure implementare da capo l'algoritmo nativamente in *Java*. Entrambe le ipotesi vanno attentamente valutate tenendo conto anche della potenza di calcolo e del consumo di batteria del dispositivo.

7.2.2 Integrazione C++/Jni lato tablet

Google fornisce oltre a delle ricche librerie *Java* anche delle *API* in linguaggio *C/C++*. Alcune funzioni esposte da queste ultime non sono presenti in quelle *Java* oppure sono molto più efficienti. Sarebbe quindi necessario, negli sviluppi futuri, predisporre una interfaccia *Jni* in maniera da integrare codice *Java* e *C++* all'interno della stessa applicazione.

Tutto il progetto ne gioverebbe, specialmente per quanto riguarda le performance; inoltre si potrebbe pensare di importare parti della libreria *PCD* in maniera da automatizzare alcuni processi.

7.2.3 Texture dei punti

Il prodotto fornisce delle buone ricostruzioni 3D per quanto riguarda la forma e le dimensioni dell'oggetto; ai fini ispettivi, di fatto, non c'è bisogno d'altro. Ciononostante le ricostruzioni visualizzate sia su *tablet* che su *computer* essendo formate da soli punti sono spesso di difficile comprensione da parte dell'utenza. Per rispondere a queste esigenze potrebbe essere opportuno pensare ad aggiungere ad ogni singolo punto una opportuna texture in maniera da rendere più immediato il riconoscimento dell'oggetto da parte dell'utente.

Questo sviluppo darebbe un grosso valore aggiunto in quando migliora grandemente l'aspetto grafico del sistema e lo rende quindi anche più vendibile.

Alcuni esempi di *Point Cloud texturizzati* sono già presenti in rete sotto licenza *Open Source*, quindi è possibile pensare al riuso degli stessi.

7.2.4 Rimozione artefatti

Un altro problema che affligge le ricostruzioni 3D effettuate da *Samba* è il rumore causato da forti fonti di luce o superfici riflettenti.

In molte riprese infatti appaiono dei piani sospesi a mezz'aria che si sommano li uni agli altri rendendo qualche volta la ricostruzione praticamente inutilizzabile. Lato *Server* essi sono spesso eliminabili dalla libreria *PCD*, ma lato *tablet* rendono la visualizzazione dei *Point Cloud* ricostruito ancora più caotica e difficilmente usabile.

Un possibile sviluppo è quindi quello di usare le caratteristiche stesse di questi artefatti (come essere isolati, sempre perfettamente planari etc) per filtrarli già durante la ripresa del singolo *Point Cloud* lato *tablet*. In figura 7.2 sono stati evidenziati in rosso alcuni degli artefatti.

7.2.5 Controllo di forma

Oltre alla creazione del modello 3D e del calcolo del volume potrebbe rivelarsi molto utile per gli ispettori avere uno strumento automatico per confrontare la forma dell'oggetto ispezionato con un modello "perfetto" del bene stesso. Ad esempio potrebbe essere usato per confrontare componenti meccaniche con i loro modelli *CAD* al fine di individuare eventuali deformazioni subite durante il trasporto.

7.2.6 Integrazione con l'applicazione Vic

L'azienda fornisce ai suoi dipendenti ispettori una applicazione che permette di automatizzare diverse mansioni. Tra le varie funzioni che mette a disposizione c'è quella di avviare una nuova ispezione o *job* permettendo all'utente di compilare diversi *form* per

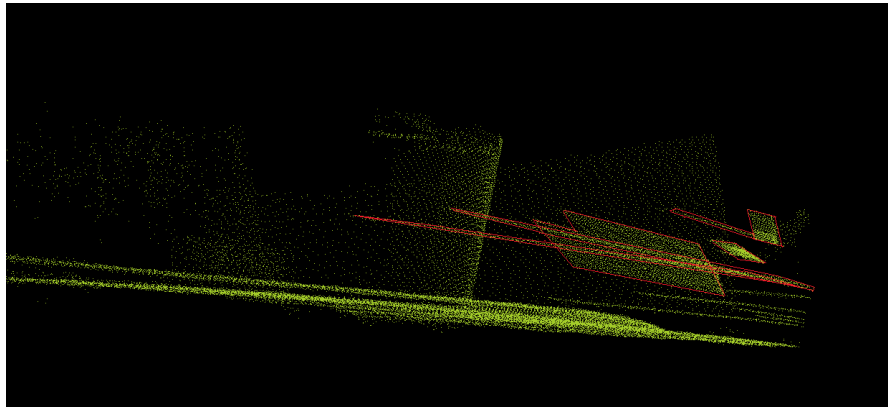


figura 7.2: Point Cloud che presenta problemi di artefatti di un bidone conico, vista laterale

fornire così in tempo reale un rapporto dettagliato e standardizzato del lavoro svolto. In questo ambito una buona integrazione delle tecnologie *Tango* potrebbe fornire molto valore aggiunto.

7.2.7 Ricostruzione continua

Le ricostruzioni di *Samba* vengono effettuate "foto per foto", ovvero l'utente deve osservare l'oggetto da diverse angolazioni ed effettuare delle rilevazioni proprio come se si scattassero molte foto.

Un ottimo sviluppo sarebbe fare in modo che queste rilevazioni fossero effettuate in maniera automatica e continua, ciò darebbe molti vantaggi al sistema:

- * Ci sarebbero molti più dati, quindi la rilevazione sarebbe di maggiore qualità.
- * L'applicazione sarebbe più vicina ai bisogni dell'utente.
- * Si genererebbero molti *Point Cloud* quasi uguali sovrapposti offrendo la possibilità di eliminare parte del rumore con metodi statistici (è improbabile che due scatti successivi dello stesso oggetto senza muovere il tablet siano affetti dagli stessi artefatti).

Aprire però anche a nuovi problemi:

- * Maggiore carico di informazioni che deve essere gestito ed ottimizzato.
- * Maggior consumo della batteria.
- * Necessità di euristiche per determinare quale sia un *Point Cloud* buono: l'utente non può più visionarli e scartare quelli affetti da errore.

7.3 Problemi ancora irrisolti

7.3.1 Surriscaldamento e consumo della batteria

Il prototipo prodotto ha un consumo della batteria piuttosto elevato ed a volte porta al surriscaldamento del dispositivo. Ciò secondo una prima analisi è dovuto ai seguenti fattori:

- * Utilizzo combinato dei quattro sensori principali del *device*: fotocamera a colori, fotocamera *Fish-eye*¹, sensore *IR* ed accelerometro/giroscopio. Questi sensori sono tutti necessari per il *Motion Tracking* e la cattura dei *Point Cloud*.
- * Grande mole di dati da elaborare: un singolo *Point Cloud* può contare anche 90 000 punti, essi devono essere elaborati e renderizzati in tempo reale.
- * Necessità di pesanti elaborazioni parallele: per permettere all'utente una interfaccia fluida e non rallentare i calcoli è necessario usare molti processi paralleli. Ogni scatto registrato è elaborato su di un proprio *Thread* ed è presente un servizio che ottimizza ad intervalli regolari la ricostruzione corrente (indispensabile per tenere sotto controllo la complessità delle strutture dati).
- * *Rendering real-time*: come discusso in sezione 1.3.4 è un fondamentale requisito di usabilità avere una preview dei dati catturati dal *depth sensor*. Ciò implica l'utilizzo di un *render 3D OpenGL* che richiede una grande quantità di risorse.
- * Connessione dati: la necessità di un *backend Server* comporta l'utilizzo della connessione internet. Inoltre dato il tipo di utilizzo per cui è stata ideata l'applicazione userà spesso la connessione *mobile* per inviare i dati.

Risolvere queste criticità era oltre gli obiettivi dello *stage*, ma è comunque stato stilato un documento contenente alcune contromisure che potranno essere usate per mitigarne gli effetti:

- * Effettuare le operazioni più dispendiose usando le librerie native in *C* ed integrarne i risultati mediante una interfaccia *Jni*.
- * Una volta migrate le operazioni di elaborazione dei punti da *Java* a *C* si dovrebbero avere un sensibile incremento nelle prestazioni che permetterebbe di limitare l'elaborazione a solo due processi: uno per gestire la trasformazione dei punti (rotazione, traslazione, sovrapposizione) ed uno per le operazioni di ottimizzazione (*voxeling*, rimozione rumore, rimozione ridondanze).
- * Gestire la priorità del servizio di ottimizzazione: è trasparente all'utente e non deve necessariamente essere performante. Quindi esso può avere una minore priorità nell'utilizzo della *CPU* cercando di ridurre i *burst* di dati.
- * Il *render* non ha lo scopo di rappresentare tutti i punti salvati, ma di fornire all'utente una idea di quello che "vede" il sensore di profondità. Si può pensare quindi di approssimare parti della nuvola di punti a figure geometriche semplici, ad esempio il pavimento può essere approssimato ad un piano. Ciò ridurrebbe il carico di lavoro per processore e scheda grafica.

Comunque va tenuto a mente che il dispositivo è un *HardWare* sperimentale che non è pensato per utilizzo su larga scala ma solo per lo sviluppo: comportamento instabile del dispositivo usando alcuni tipi di applicazioni è largamente documentato all'interno della comunità. xxxx (documentare)

Durante il tirocinio sono stati sperimentati questo genere di problemi anche con applicazioni rilasciate dalla *Google* stessa. xxxx (documentare)

¹Fotocamera *Fish-eye*: un obiettivo grandangolare che abbraccia un angolo di campo di circa 180 gradi, in particolare quello in dotazione nel dispositivo usato è in bianco e nero.

7.3.2 Preview della fotocamera

Le *API* forniscono degli strumenti per automatizzare la *preview* della fotocamera a colori. Essi tuttavia si sono rivelati estremamente pesanti come carico computazionale e se combinati al resto dell'applicazione prodotta possono portare a rallentamenti imprevisti.

Per questo si è scelto di ottenere questa anteprima tramite metodi di basso livello. Essi tuttavia richiedono uno sforzo ben maggiore e quelli applicati in *Samba* vanno rivisti. Un *bug* noto è che alla ripresa della attività, qualche volta la *preview* non viene attivata ed il riquadro a lei riservato rimane nero.

7.4 Consuntivo finale

XXXX

7.5 Raggiungimento degli obiettivi

XXXX

7.6 Conoscenze acquisite

Dal punto di vista formativo l'attività di *stage* è stata estremamente positiva. Ha arricchito il mio bagaglio personale di competenze professionali.

La richiesta di app *mobile* è in continuo aumento. Per questo l'apprendimento della progettazione e sviluppo delle applicazioni mobili *Android* è certamente una pietra miliare in campo *IT* in questi anni.

L'approccio ad una tecnologia sperimentale ed ancora di nicchia come *Tango Project* crea dei vantaggi in ambito occupazionale in quanto gli sviluppatori non sono molti. Inoltre il rilascio del primo *smartphone* commerciale dotato dei sensori *Tango* è stato annunciato da *Lenovo* per settembre 2016; se dovesse prendere campo anche in ambito *customer* ci sarebbe certamente una grande richiesta di sviluppatori con esperienza vista la scarsità di applicazioni dedicate a questo tipo di *HardWare*. Altro aspetto positivo è stato l'inserimento all'interno della comunità degli sviluppatori *Tango* sia su *StackOverflow* che su *Google plus*; lo studente ha avuto modo di confrontarsi con addetti *Google* e con altri sviluppatori sia in ambito accademico/di ricerca che in ambito industriale.

In ambito aziendale si usa *Java* come linguaggio di programmazione ed *Android Studio* come *IDE*. La curva di apprendimento di questi strumenti è stata piuttosto rapida grazie all'esperienza già maturata in ambito accademico con *Java* ed *IntelliJ*, su cui è basato *Android Studio*. Più complessa si è rivelata l'assimilazione e la comprensione del *Framework Jni*, sia a causa della sua intrinseca complessità sia al fatto che *Android Studio* lo supporta solo in *release* sperimentale. Infatti in azienda è stato realizzato solo un piccolo prototipo che dimostra l'agibilità di questa via, ma poi la tecnologia *Jni* è stata abbandonata in favore di uno sviluppo interamente in *Java*. In ogni caso molte applicazioni *mobile* specialmente in ambito grafico ne fanno uso, quindi ai fini del curriculum si è rivelata comunque un'esperienza fruttuosa.

Appendice A

Appendice A

Citazione

Autore della citazione

Bibliografia

Riferimenti bibliografici

Siti Web consultati