

# **La terza dimensione per la pianificazione urbana e ambientale. Il contributo e le potenzialità dell'alta risoluzione satellitare.**

Livio ROSSI (\*), Fabio VOLPE (\*)

(\*) Eurimage S.p.A., Via E. D'Onofrio 212, 00155 Roma, tel. 06 406941, [l.rossi@eurimage.com](mailto:l.rossi@eurimage.com), [f.volpe@eurimage.com](mailto:f.volpe@eurimage.com)

## **Riassunto**

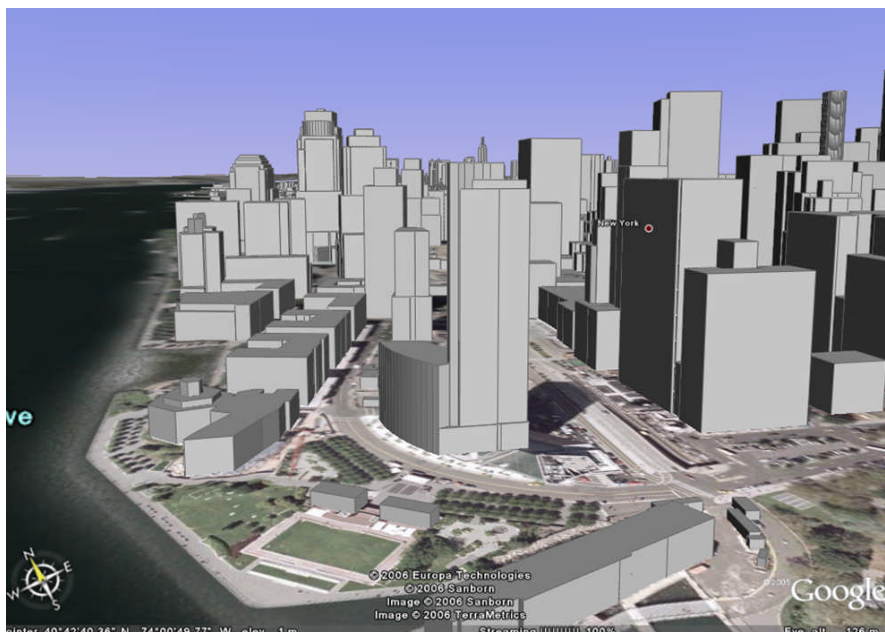
I servizi on line, come *Google Earth*, stanno chiaramente dimostrando come l'informazione telerilevata, rappresentata sia bidimensionalmente che in tre dimensioni, costituisca una base di riferimento di estrema importanza per lo studio di ambienti sia urbani che rurali. Infatti, i tecnici che utilizzano dati telerilevati digitali ad alta risoluzione (satellite /aereo) per le loro attività operative o scientifiche di analisi territoriale hanno ormai necessità di dati con l'informazione della terza dimensione, anche se non particolarmente precisi o assoluti in termini di quota, per una pianificazione e gestione efficienti. I dati satellitari stereoscopici ad alta risoluzione, necessari per l'estrazione della terza dimensione, sono disponibili su pochissime zone ed hanno un costo molto elevato rispetto al dato monoscopico. Viene invece proposto un approccio più semplice per l'estrazione della terza dimensione, basato sull'impiego di immagini QuickBird d'archivio, che consentono notevoli economie rispetto alla coppia stereoscopica standard. I risultati ottenuti sono stati molto incoraggianti sia per la ricostruzione del DTM, che per l'estrazione di oggetti (edifici, alberi) in ambiente sia urbano che rurale, consentendo la generazione di ambienti di realtà virtuale per effettuare analisi integrate sul territorio.

## **Abstract**

On-line geographic services, such as *Google Earth*, are clearly showing how remotely sensed information, in two or three dimensions, is a very powerful reference base for the study both of urban and rural environments. As a matter of fact, technicians using remotely sensed data with high resolution (satellite/airplane) for their operational and scientific activities of territory analysis need data with the third dimension, even if not extremely accurate in terms of absolute precision in the elevation measure, for a correct planning and management. Stereoscopic high resolution satellite data, that are needed for the extraction of the third dimension, are available only on a very limited percentage of the world, and have a far higher price if compared with monoscopic data. An easier approach for third dimension extraction is proposed, based on the use of archived QuickBird images, that enable very important savings in comparison to stereoscopic data. Obtained results are very encouraging, both in terms of DTM and of feature extraction, such as buildings and trees, allowing the generation of virtual environments for territorial integrated analysis

## **Introduzione**

La richiesta da parte dei principali *Internet Service providers* di immagini sul territorio a risoluzione sempre più spinta è un trend che sembra attualmente quasi inarrestabile. Sulla scia di *Google*, che con *Google Earth* ha aperto un nuovo modello di business basato su immagini satellitari a media ed alta risoluzione, altri *players*, e *Microsoft* in primis, stanno cavalcando questo momento di rapida diffusione dei dati geografici su Internet.



Lo scopo è ovviamente puramente commerciale, ma l'impatto sulla diffusione e sull'uso dell'informazione è sicuramente notevole. La sfida tra i vari *providers*, infatti, si traduce poi, alla fine, nella possibilità di erogare servizi commerciali sempre più attraenti, e si sta spostando su un progressivo miglioramento della base dati geografica, al fine di accaparrarsi il maggior numero di clienti e quindi di aumentare il più possibile il fatturato.

Figura 1 – Esempio di city model urbano (da Google Earth)

Miglioramento significa copertura sempre più ampia, risoluzione sempre migliore, introduzione della terza dimensione, introduzione di *layers* aggiuntivi. Per esempio Google ha dapprima integrato la base dati Landsat, a 15 metri di risoluzione, con le immagini QuickBird a 60 cm, poi ha incluso nel suo Google Earth anche immagini da aereo, con risoluzioni ancora più spinte; progressivamente, quindi, Google sta aumentando sempre più la percentuale di dati ad alta/altissima risoluzione disponibili, generando una base bidimensionale di dettaglio sempre maggiore, sulla quale innestare servizi sempre più dettagliati. Ma Google ha anche investito nella terza dimensione come elemento qualificante della propria offerta. Qualsiasi angolo del mondo, quindi, viene visualizzato tramite Google Earth anche in tre dimensioni, impiegando modelli digitali del terreno a risoluzione medio-bassa sui quali effettuare il *draping* delle immagini. Per l'ambiente urbano, poi, che richiede un dettaglio diverso, Google sta puntando sui *city models*, come riportato in figura 1. I singoli edifici diventano dei parallelepipedi, e, tramite l'acquisizione del software SketchUp, Google consente a tutti di popolare le immagini con il modellino tridimensionale della propria abitazione o di elementi particolari del territorio. Un significativo punto di forza per il miglioramento della propria offerta è stato quindi individuato da Google nella terza dimensione. Microsoft sta percorrendo una strada analoga per la sua Virtual Earth, con la differenza che la terza dimensione è affidata alle foto oblique acquisite con tecnologia *Pictometry*, che forniscono una visione più reale ma meno interattiva del territorio.

L'estrazione della terza dimensione viene tradizionalmente fatta a partire dalla fotogrammetria, ma i dati satellitari possono offrire soluzioni molto competitive, basate su stereoscopia o interferometria. Per molti satelliti è possibile la rotazione del sensore in modo da acquisire lungo la stessa orbita coppie stereoscopiche, puntando prima il sensore in avanti e, una volta passati sull'area da acquisire, puntando il sensore indietro. E' questo l'approccio, ad esempio, seguito dai satelliti ad alta risoluzione QuickBird, Ikonos ed Eros. Questo modo di acquisire, che richiede molta agilità nel manovrare il sensore, ed è poco efficiente in quanto non consente una copertura continua in stereoscopia lungo tutta l'orbita, è stato notevolmente migliorato nell'ultima generazione di satelliti dedicati principalmente ad acquisire dati tridimensionali. Questi satelliti, dei quali un esempio è l'indiano Cartosat, consentono di

realizzare acquisizioni along-track di immagini stereoscopiche, essendo basati su una coppia di sensori, uno più nadirale e l'altro inclinato, che acquisiscono immagini stereo senza dover effettuare manovre di rotazioni del sensore, e garantendo un *tappeto* continuo di dati stereoscopici.

Di seguito vengono riportate alcune esperienze di impiego di dati satellitari per l'estrazione della terza dimensione, con particolare riguardo all'impiego di dati QuickBird ed al contenimento dei costi rispetto alla fotogrammetria da aereo

### **Impiego di coppie stereoscopiche**

Le normali procedure di estrazione della terza dimensione da immagini QuickBird sono basate sul processamento di coppie stereoscopiche acquisite ad hoc dal satellite. Queste coppie possono essere processate impiegando software di *image processing* di tipo commerciale, impiegando un approccio basato sui RPC oppure un modello rigoroso di ripresa. Per dare un'idea delle precisioni in gioco, avendo a disposizione dei punti di controllo di elevata precisione, è stato possibile raggiungere, su una coppia stereo acquisita a nord di Siracusa, sull'area di Augusta, un'accuratezza espressa in termini di RMSE inferiore a 1.5 metri su aree extraurbane a bassa pendenza, ed RMSE intorno ai 3 metri nella determinazione delle altezze dei palazzi.

L'impiego di coppie stereo satellitari introduce sostanzialmente due problemi:

- il costo dei dati
- la disponibilità dei dati

Infatti le coppie stereoscopiche QuickBird sono disponibili solo a livello di prodotto *Basic*, cioè quello caratterizzato dal minor postprocessing rispetto al dato originario raccolto dal satellite. Il prodotto *Basic* è disponibile solo su frames intere. Considerando che gli angoli di acquisizione rispetto alla verticale di ciascuna delle immagini della coppia sono ben oltre i 20°, l'area coperta da ciascuna frame è di oltre 400 kmq; il prezzo delle coppie è molto elevato, soprattutto se si è interessati ad aree di piccola estensione. Inoltre, l'area di interesse deve essere inclusa all'interno della stessa frame. Il tutto si traduce in un costo del dato per kmq piuttosto elevato, soprattutto se l'area di interesse è limitata ad un centro urbano di dimensioni medio-piccole.

Oltre al problema dei costi c'è poi quello della disponibilità dei dati. In pratiche le coppie stereoscopiche vanno sempre acquisite ex-novo, in quanto in archivio ce ne sono molto poche. Questi fattori hanno di fatto costituito un grosso ostacolo per l'impiego di QuickBird come base dati per l'estrazione di dati tridimensionali

### **Impiego di coppie d'immagini satellitari**

Una soluzione per una drastica riduzione dei costi da sostenere per l'estrazione della terza dimensione da dati satellitari è basata sull'impiego di una coppia di immagini QuickBird, prodotto *Standard OrthoReady*, acquisite in tempi diversi. Questo prodotto consente di risolvere i due problemi evidenziati in precedenza per il prodotto *Basic*: il costo e la disponibilità.

Infatti il prodotto *Standard OrthoReady* può essere acquistato con prezzo per unità di area, a partire da un'area minima di 25 kmq. Di conseguenza il prezzo di dati, in funzione delle dimensioni dell'area, può scendere anche di un fattore 10. Inoltre va considerato che è disponibile su tutto il mondo un archivio di circa 700.000 immagini, focalizzato principalmente sui centri abitati, ove sono spesso disponibili anche acquisizioni multitemporali. L'approccio è quello di acquisire due immagini relative alla stessa area (figura 2), lungo due differenti orbite e che puntano all'area da due ragionevolmente diversi punti di vista. A tale riguardo sono stati effettuati tre diversi test, su aree in provincia di Roma e di Viterbo relative sia ad ambienti urbani, che extraurbani e naturali. I risultati ottenuti indicano chiaramente che

anche da queste pseudo-coppie stereo è possibile estrarre informazioni tridimensionali, purché la geometria di acquisizione, ed in particolare il rapporto  $B/H$ , sia valido dal punto di vista fotogrammetrico.

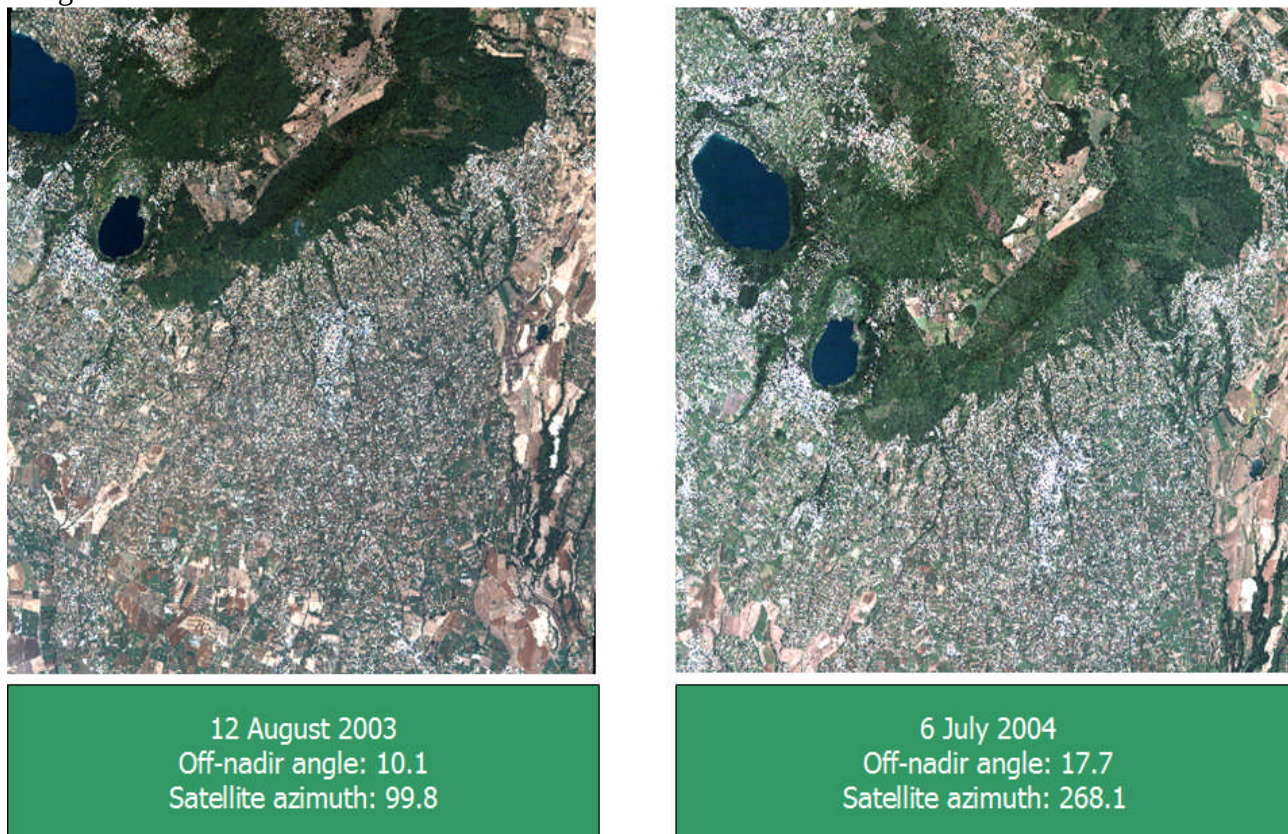


Figura 2 – Esempio di pseudo-coppia di immagini QuickBird Standard OrthoReady, fatta da immagini acquisite in tempi diversi e con geometria di ripresa diversa. Da notare che entrambe le immagini sono state acquisite durante la stagione estativa, riducendo l'impatto delle differenze di radiometria sulla qualità dell'*image matching*.

Operativamente parlando, una volta identificata l'area d'interesse, occorre valutare le immagini che la coprono presenti nell'archivio QuickBird, facendo particolare attenzione all'*off-nadir angle* (in pratica l'angolo rispetto alla verticale) ed al *target azimuth* (in pratica la direzione secondo la quale il satellite guarda l'area). Nel caso in cui non sia presente una coppia di immagini con *target azimuth* appropriato, è possibile richiedere una nuova acquisizione secondo *ranges* predefiniti di *target azimuth*, in modo da generare una pseudo-coppia con buona geometria di ripresa stereoscopica.

Sulla qualità dei risultati, ed in particolare sulla qualità della correlazione automatica tra le due immagini per l'individuazione di pixel omologhi, ha anche un discreto impatto la stagione di acquisizione delle due immagini, che deve essere il più possibile simile in modo da minimizzare le differenze radiometriche tra di esse. Inoltre, è preferibile impiegare, soprattutto in ambienti extraurbani, algoritmi di *image matching* che privilegino la geometria rispetto alla radiometria. E' evidente che differenze sostanziali nella geometria tra le due immagini introducono errori nei risultati, come per esempio riportato in figura 3. Sulle aree test considerate, i pacchetti software impiegati per il processing geometrico sono stati PCI ed Erdas. Con PCI si è seguito un approccio rigoroso, con Erdas quello basato sulle RPC. L'orientamento è stato effettuato a partire da punti rilevati con GPS, con elevata precisione. Il *matching* è stato basato sull'immagine pancromatica.

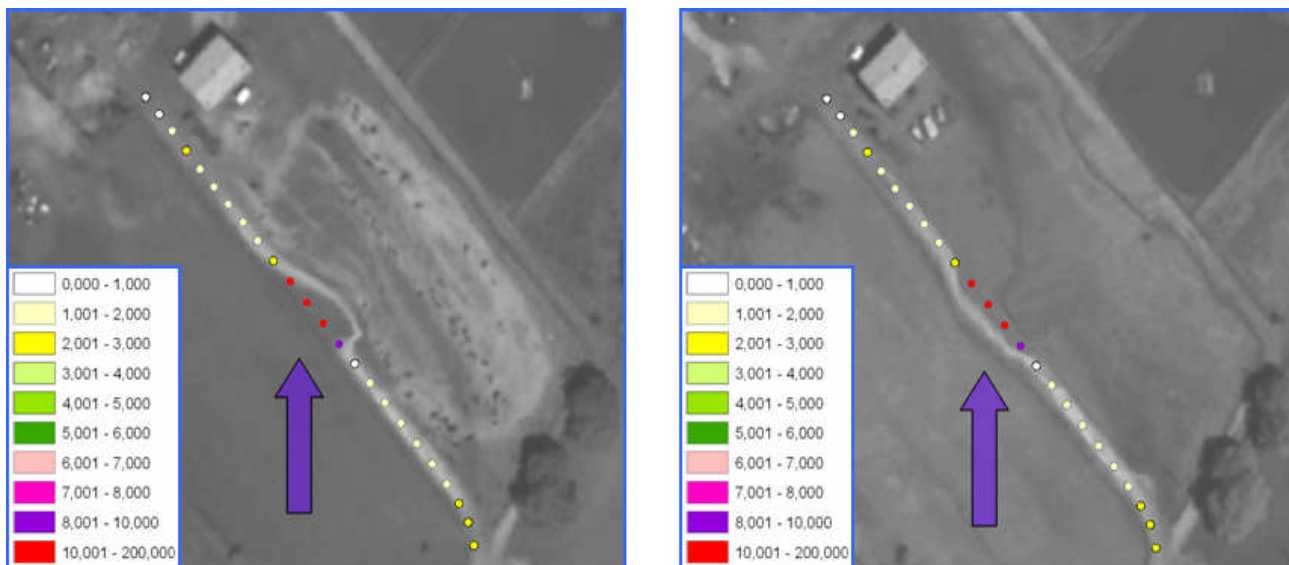


*Figura 3 – Esempio di influenza delle variazioni di geometria nel tempo sulla qualità del DTM ottenuto. I tre punti segnalati dalla freccia, ubicati in un'area dove la strada ha cambiato tracciato nell'intervallo di tempo compreso tra le date di acquisizione delle due immagini,, hanno un errore di quota, rispetto a quella rilevata tramite GPS, di oltre 10 metri*

La risoluzione del DSM risultante è stata, a seconda dell'area, compresa tra 2 e 4 pixel (cioè tra 1.2 e 2.4 metri). In termini di RMSE, l'accuratezza nella misura della quota, rilevata lungo delle strade tramite confronto con un rilievo GPS, è stata di circa 2.5 metri nel caso degli RPC, leggermente migliore nel caso di modello rigoroso. Si è quindi riscontrato un lieve peggioramento rispetto a quanto ottenuto con la coppia stereoscopica di immagini *Basic*.

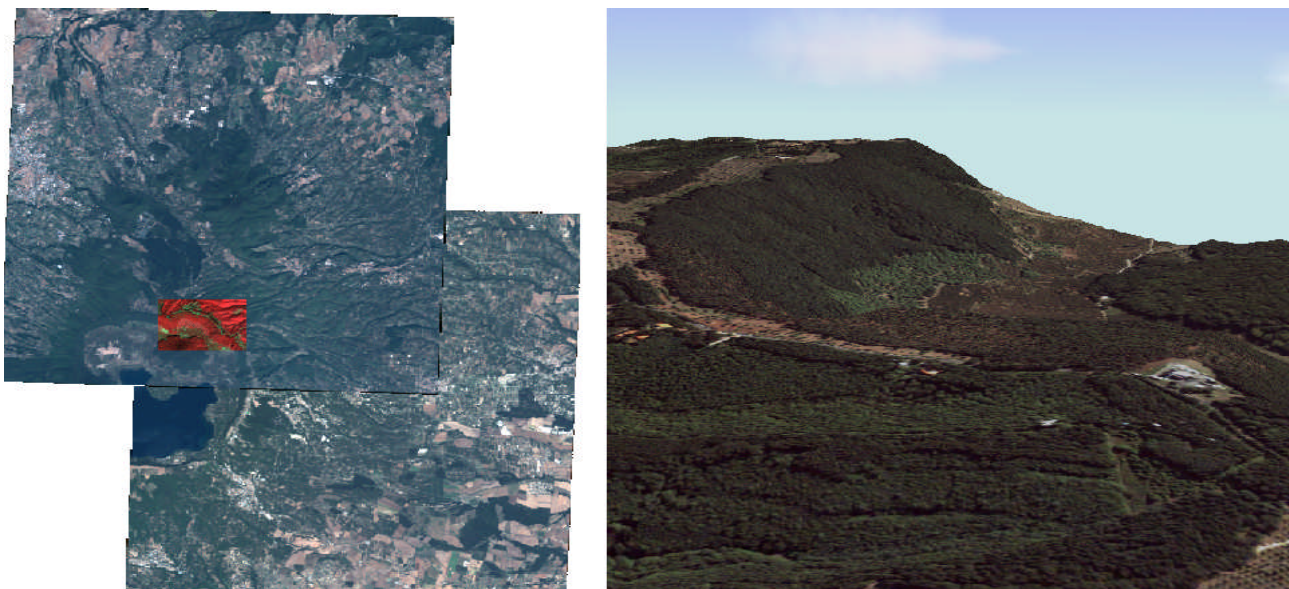


*Figura 4 – Modello 3D (destra) relativo all'area evidenziata in falsi colori sulla pseudo-coppia (sinistra)*

Dall'elaborazione delle immagini è stato possibile derivare un city model semplificato, dello stesso impatto di quelli visibili su *Google Earth*, ma anche delle rappresentazioni virtuali di ambienti naturali. In figura 4, per esempio, è riportata sulla sinistra una pseudo-coppia dalla quale è stata poi generata la vista sulla destra. Inoltre è possibile posizionare sulla scena degli alberi virtuali, la cui altezza e la cui specie è stata dedotta dalle immagini satellitari, come in figura 5

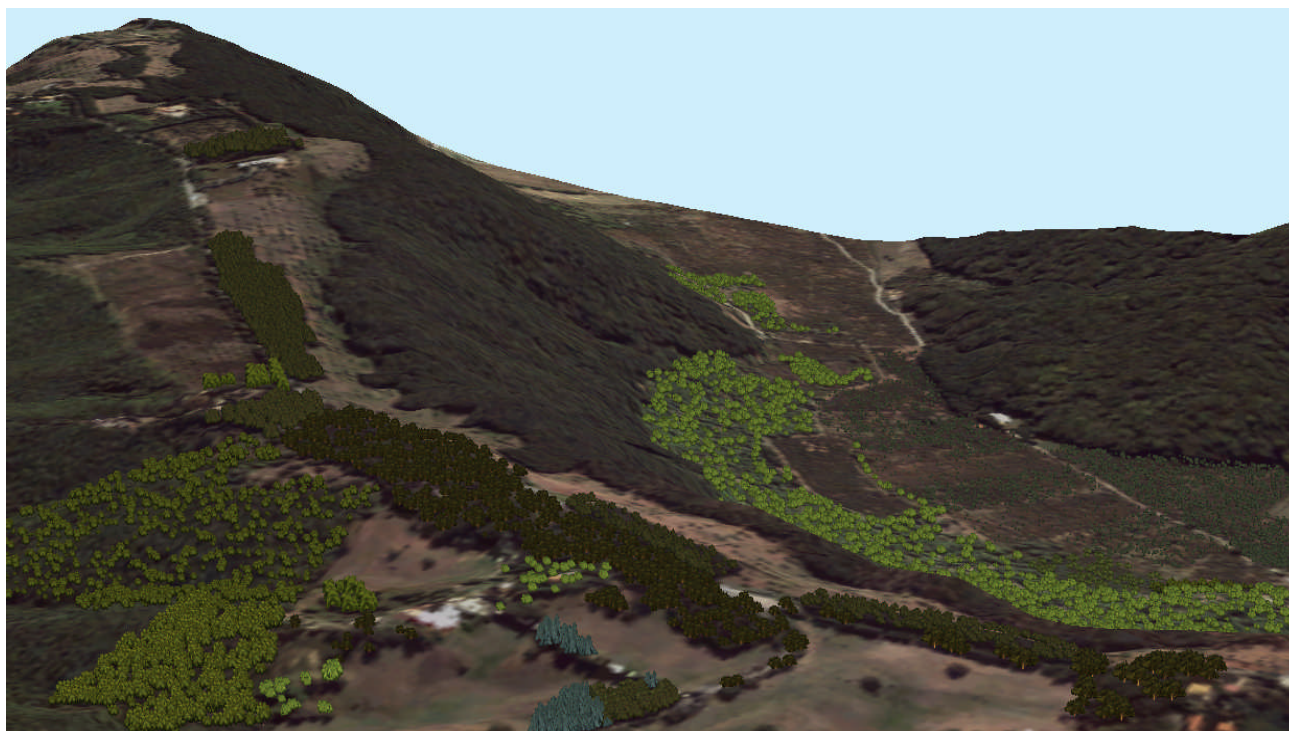


Figura 5 – Modello 3D derivato da pseudo-coppia arricchito con oggetti virtuali relativi alla vegetazione

### Conclusioni

Con QuickBird è possibile estrarre DSM di interessante qualità a partire sia da coppie stereoscopiche rigorose acquisite nel corso dello stesso passaggio, oppure impiegando pseudo-coppie fatte da immagini acquisite in tempi diversi sopra la stessa area. In quest'ultimo caso, caratterizzato da costi notevolmente inferiori, la qualità dei risultati dipende da una serie di fattori che possono essere minimizzati attraverso una selezione accurata delle due immagini da impiegare, fermo restando che la migliore accuratezza nella misura della quota si ottiene sempre a partire da stereocoppie rigorose. Le informazioni di quota rilevate tramite *matching* automatico o manuale possono essere impiegate per la generazione di oggetti virtuali quali edifici e vegetazione, da collocare all'interno di scenari tridimensionali di realtà virtuale che non richiedono elevata accuratezza nella misura della quota, e da impiegare per analisi interattive integrate del territorio.