



Università degli Studi di Padova

FACOLTÀ DI INGEGNERIA INFORMATICA

Corso di Laurea in ingegneria informatica

**UNA PANORAMICA SULL' UTILIZZO
DELLE TRE DIMENSIONI NELLE
APPLICAZIONI G.I.S.**

Laureando

Davide Ereno

Relatore

Prof. Massimo Rumor

ANNO ACCADEMICO 2011/2012

sommario

Obiettivo di questa tesina è fornire un'illustrazione sintetica di come viene trattata la terza dimensione nei GIS e di offrire una panoramica dei software GIS presenti sul mercato che considerano la terza dimensione.

Indice

1	Introduzione	1
2	Trattamento della terza dimensione nei GIS	3
2.1	Acquisizione dei dati dalla realtà	3
2.1.1	Fotografia Aerea	4
2.1.2	InSAR	4
2.1.3	LiDAR	5
2.1.4	GPS	5
2.2	Rappresentazioni geometriche dei dati tridimensionali	6
2.2.1	Rappresentazioni basate su superfici	6
2.2.2	Rappresentazioni basate sui volumi	8
2.3	Visualizzazione	11
2.4	Analisi per dati geografici 3D	12
2.4.1	Analisi del rumore	12
2.4.2	Analisi delle inondazioni	12
2.4.3	Analisi della linea di vista (line of sight analysis)	13
2.4.4	Analisi dell'andamento del terreno	13
2.5	Standardizzazione dei dati 3D : CityGML	14
2.6	Soluzioni per il salvataggio di dati 3D tramite DBMS	16
3	Panoramica di software GIS con funzionalità 3D	19
3.1	Autodesk Autocad Map 3D	19
3.1.1	Modellazione	19
3.1.2	Visualizzazione	20
3.1.3	Analisi	21
3.1.4	Applicazioni collegate	21
3.2	Bentley Map	21
3.2.1	Modellazione	21
3.2.2	Visualizzazione	22
3.2.3	Analisi	23
3.2.4	Applicazioni collegate	23

3.3	Esri 3D Analyst	24
3.3.1	Modellazione	24
3.3.2	Analisi	24
3.3.3	Visualizzazione	25
3.3.4	Applicazioni collegate	26
3.4	Intergraph GeoMedia 3D	26
3.4.1	Modellazione	26
3.4.2	Visualizzazione	27
3.4.3	Analisi	27
3.5	GRASS	27
3.5.1	Modellazione	28
3.5.2	Visualizzazione	29
3.5.3	Analisi	29
3.6	DBMS spaziali	30
3.6.1	Oracle Spatial	30
3.6.2	PostgreSQL + PostGIS	30
4	Conclusioni	31

Capitolo 1

Introduzione

Il mondo che ci circonda è tridimensionale ma gli strumenti software che servono per analizzare, o più in generale, gestire le informazioni geo-spaziali solo recentemente hanno cominciato ad affrontare il trattamento della terza dimensione. Questo fatto è sicuramente da attribuire a limiti tecnologici che ora sono in gran parte superati. L'utilizzo della terza dimensione consente enormi benefici in termini di realismo della rappresentazione della realtà ed anche di possibilità di analisi spaziale.

I campi di applicazione che possono beneficiare dall'utilizzo dei 3D GIS sono i più svariati tra i quali si segnalano i seguenti:

- **Pianificazione urbana** In questo campo l' utilizzo di questi software è fondamentale come supporto decisionale, infatti vengono realizzati modelli 3D, utilizzando strumenti CAD, che possono essere visualizzati in un ambiente virtuale ma realistico, grazie ai 3D GIS, ed avere quindi un'idea più chiara del risultato finale. Su questi modelli possono anche essere eseguite delle analisi per capire cosa comportano tali opere nel contesto nel quale si vuole realizzarle, per esempio il rumore provocato da una strada sugli edifici esistenti.
- **Catasto** l' utilizzo dei dati 3d in questo campo aiuta nella comprensione rispetto alle sole ortofoto o rappresentazioni bidimensionali o anche nelle operazioni estimative nelle quali è utile conoscere l'andamento del terreno.
- **Gestione del rischio e delle emergenze** nel quale questi strumenti possono essere usati come sistema di prevenzione effettuando delle simulazioni, o studiando dei piani di intervento pre-disastro oppure come supporto nelle operazioni post-disastro.

- **Telecomunicazioni** in quest'ambito i 3D GIS vengono utilizzati, ad esempio, per la scelta del posizionamento delle antenne, infatti possono essere eseguite delle analisi per trovare la posizione ottimale di queste in modo che le onde che propagano si scontrino con il minor numero di elementi di disturbo possibile (edifici o anche elementi naturali).
- **Turismo** vengono realizzate rappresentazioni tridimensionali dei luoghi che hanno un qualsiasi interesse storico o culturale (città, siti archeologici) e poi vengono utilizzati come pubblicità.

In questa tesina verranno prese in considerazione rappresentazioni tridimensionali per applicazione geo-spaziali, che hanno delle particolarità in più rispetto ad altre tipologie di rappresentazione come per esempio quella CAD. Una di queste particolarità è la geo-referenziazione che non è molto diversa da quella dei dati 2D, infatti oltre alle coordinate espresse rispetto al datum utilizzato, viene aggiunto l'attributo dell'altezza misurata rispetto all'ellissoide usato appunto dal datum. Un'altra differenza sta sicuramente nel minor livello di dettaglio richiesto, in genere, nella modellazione degli elementi 3D geografici.

Capitolo 2

Trattamento della terza dimensione nei GIS

In questo capitolo verranno descritte le principali soluzioni pensate per introdurre la terza dimensione nei software GIS. Prendendo in considerazione vari aspetti di questi software che sono stati modificati o aggiunti per permettere appunto l'elaborazione di dati geo-spaziali tridimensionali, partendo dall'acquisizione che anche se non è strettamente legata ai software è comunque necessaria per questo scopo. Sono poi mostrati vari modelli geometrici 3D più o meno utilizzati, metodi di analisi, visualizzazione e memorizzazione di questa tipologia di dato, per in fine mostrare uno standard importantissimo in questo ambito, CityGML.

2.1 Acquisizione dei dati dalla realtà

La grande estensione del territorio che, in certi casi si deve studiare, per essere trasportato nel modello tridimensionale richiederebbe un enorme sforzo se fatto manualmente, per questo visto che la tecnologia lo permette si sono studiati dei meccanismi e delle procedure per eseguire delle vere e proprie scansioni del territorio.

Il telerilevamento che è appunto la disciplina di cui fanno parte i procedimenti sopra citati, si occupa dello studio dell'ambiente o comunque di oggetti posti a distanza da un sensore analizzando opportuni segnali di varia natura, ad esempio elettromagnetica, riflessi da essi. Naturalmente vi sono molteplici tipi di telerilevamento ma quelli che servono per rilevare gli aspetti tridimensionali del territorio sono la fotografia aerea, l' InSAR e il LiDAR che verranno esaminati qui di seguito.

2.1.1 Fotografia Aerea

l' utilizzo della fotografia aerea o satellitare è sempre stata utilizzata in ambito geografico quantomeno per una visione più realistica del territorio sotto analisi. Vi sono comunque anche dei procedimenti che permettono di ricavare l' altezza dei punti di interesse scattando più foto della medesima area da più angolazioni come mostrato in figura 2.1 e conoscendo la posizione della fotocamera al momento di ogni scatto. In questo modo si riescono a ottenere modelli altimetrici del terreno detti anche DEM con una precisione proporzionale alla risoluzione del sensore utilizzato.

Chiaramente lo svantaggio di questa tecnologia è che si è condizionati dalle condizioni atmosferiche e dalla limpidezza del cielo al momento del rilevamento.

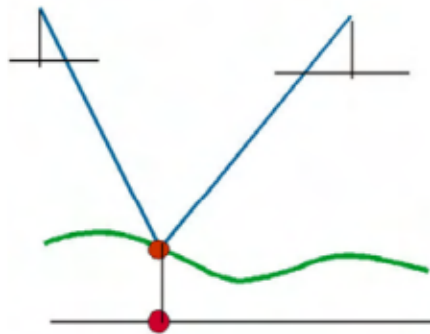


Figura 2.1: Schema semplificato del funzionamento dell'aerofotogrammetria

2.1.2 InSAR

InSAR acronimo di Interferometric synthetic aperture radar, che significa interferometria con laser ad apertura sintetica, è una strumentazione che emana onde elettromagnetiche in direzione della superficie di qui si vogliono ottenere informazioni spaziali. In base a ciò che viene riflesso viene generata un' immagine con una predefinita scala cromatica in cui ad ogni colore viene associata un' altezza come mostrato in figura 2.2, attualmente si riescono ad ottenere delle misure che hanno errori nell'ordine del centimetro.

Questa tecnica viene utilizzata molto per il monitoraggio delle deformazioni della superficie terrestre. Rispetto alla tecnica precedentemente illustrata l'InSAR ha una tolleranza alle condizioni climatiche più elevata, visto che il rilevamento può essere fatto anche in assenza di visibilità per la presenza ad esempio di nubi.

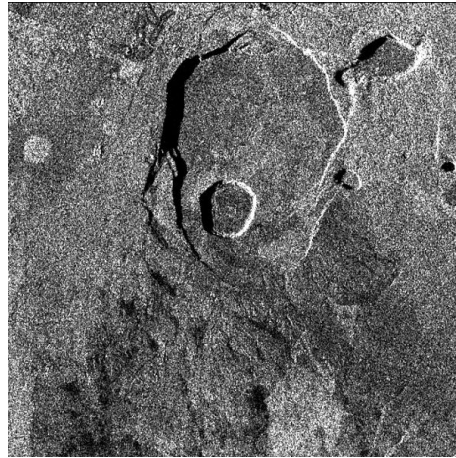


Figura 2.2: Esempio di immagine ottenuta da un rilevamento InSAR

2.1.3 LiDAR

Con questa tecnologia la zona che si vuole scansionare viene bombardata da moltissimi fasci laser generati da uno strumento, e per ognuno di essi viene calcolata la posizione in coordinate sferiche (due angoli e distanza). Si genera così una cosiddetta nuvola di punti ognuno di questi dotato di coordinate spaziali relative allo strumento. Con opportune elaborazioni si possono così ottenere modelli digitalizzati tridimensionali della realtà scansionata.

La strumentazione può essere installata su qualsiasi postazione mobile o fissa a seconda delle esigenze come ad esempio aerei, automobili o tripod. Le peculiarità di questa tecnologia sono: l'alta risoluzione che si riesce a raggiungere, per esempio si riescono ad ottenere i dettagli delle facciate degli edifici, e l'alto potere di penetrazione che per questo motivo la rende adatta per ricavare l'andamento altimetrico del terreno anche se questo ha una folta vegetazione.

2.1.4 GPS

Con questo sistema è possibile conoscere la posizione esatta dei punti battuti con lo strumento, che si presenta come una lunga asta alla cui estremità è affissa una antenna che comunica con i satelliti. Questo procedimento è utile per rilevazioni di piccoli territori e se si dispongono risorse limitate, ma è molto laborioso se non impraticabile se si devono eseguire rilevazioni di territori molto ampi o sconosciuti.

Il GPS comunque viene principalmente utilizzato come supporto per gli altri strumenti elencati sopra, infatti queste restituiscono delle misurazioni

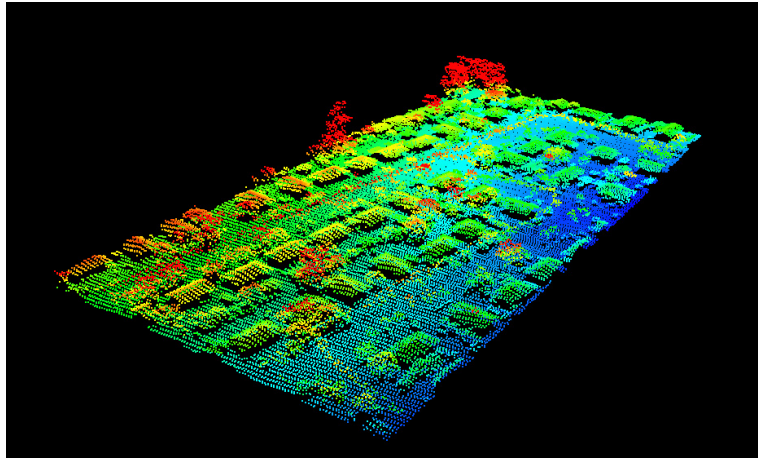


Figura 2.3: Esempio di immagine ottenuta da un rilevamento LiDAR

che sono relative ad essi e quindi per poter essere geo-localizzate si deve conoscere la posizione esatta dello strumento rispetto ad un fissato sistema di riferimento.

2.2 Rappresentazioni geometriche dei dati tridimensionali

In questa sezione vengono rappresentate le principali modellizzazioni per rappresentare elementi tridimensionali, alcune più altre meno utilizzate in ambito geo-spaziale.

2.2.1 Rappresentazioni basate su superfici

In questi tipi di rappresentazione gli oggetti del mondo reale vengono descritti secondo gli aspetti delle loro superfici e sono spiegate di seguito.

- **Griglia** : si tratta di una rappresentazione molto semplice in cui una superficie piana viene suddivisa in una griglia regolare e ad ogni punto di incrocio di tale griglia viene associato un valore che corrisponde all'altezza del terreno, è molto adatta alla rappresentazione di DTM (Digital Terrain Model) ma non può essere utilizzata in caso vi siano dei punti che possiedono più altezze come ad esempio pareti verticali.
- **Modello sfaccettato** : Questo modello di rappresentazione descrive la superficie di un oggetto attraverso delle celle di superficie piana che

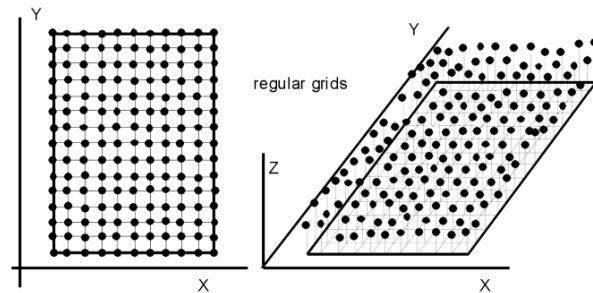


Figura 2.4: Griglia

possono avere diverse forme e dimensioni. Il più popolare modello sfaccettato è sicuramente il TIN (Triangulated Irregular Network), il quale utilizza come unica figura piana i triangoli, che garantisce una alta adattabilità alle varie forme di terreno ed anche fornisce una più chiara visualizzazione. Per la costruzione di questo modello si parte da un insieme di punti che sono quelli che sono stati rilevati e sono quindi dotati di coordinate spaziali e applicando opportuni algoritmi vengono uniti per creare le celle, ad esempio nelle TIN è solitamente utilizzata la triangolazione di Delaunay.

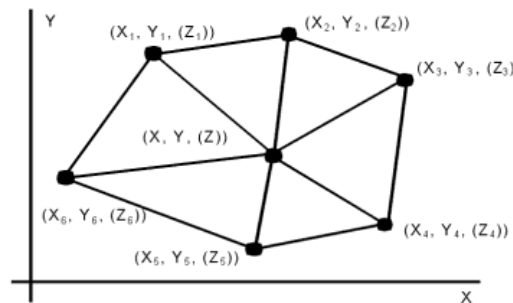


Figura 2.5: Modello sfaccettato

- **Modellazione B-Rep (Boundary Representation)** : è un modello che rappresenta gli oggetti tridimensionali attraverso la rappresentazione dei loro limiti. Il modello risulta essere formato da una serie di facce che vengono relazionate assieme attraverso delle informazioni topologiche in modo da ottenere un volume chiuso. Le facce sono delle superfici di qualsiasi genere, che sono limitate da curve chiuse, le curve possono essere più d'una perché possono essere presenti dei buchi. Ogni porzione di curva chiusa si chiama lato ed è delimitato da due punti chiamati vertici. Le facce rappresentano l'intero oggetto senza man-

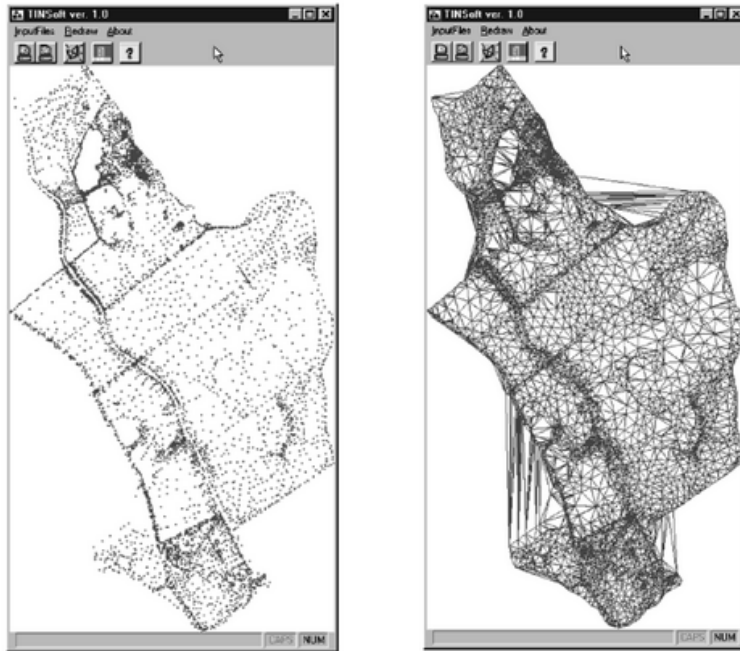


Figura 2.6: Esempio di conversione di punti rilevati a TIN

canza di parti, ed inoltre non è possibile intersecare le varie facce se non nei lati e vertici comuni. Questo risulta essere un modello ampiamente utilizzato per applicazioni GIS, ed è inoltre alla base di modelli standard come CityGML.

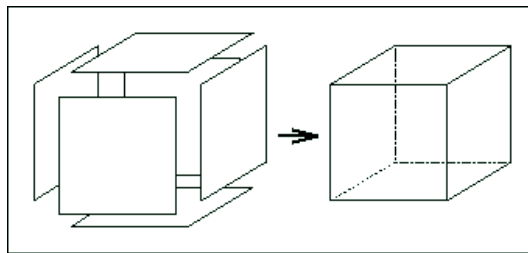


Figura 2.7: Semplice modello B-Rep

2.2.2 Rappresentazioni basate sui volumi

Vengono qui di seguito esposti i vari tipi di rappresentazioni che descrivono gli oggetti del mondo reale in base a caratteristiche volumetriche.

- **Array 3D** : è una semplice struttura in cui si rappresenta lo spazio di interesse come una matrice tridimensionale in cui vengono segnate le celle, che in gergo vengono chiamate voxel, in modo da ricreare l'oggetto desiderato. Come detto precedentemente questo modello è semplice e di facile implementazione ma allo stesso tempo poco efficiente a causa della grande quantità di memoria e potenza di calcolo richiesti per la sua elaborazione.

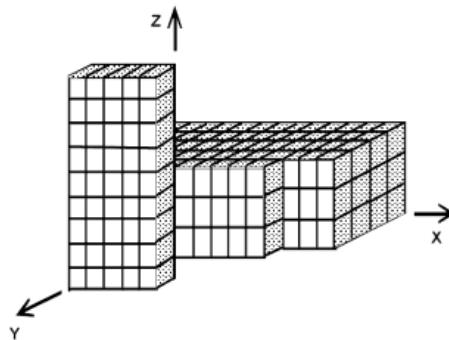


Figura 2.8: Esempio di Array 3D

- **Octree** : questo tipo di modello si presenta come una struttura gerarchica ad albero in cui ogni nodo possiede otto figli oppure è un nodo terminale. L'associazione che viene fatta con lo spazio di interesse è che questo viene considerato come un cubo, a cui viene associata la radice, questo viene poi suddiviso in otto cubi identici che vengono fatti corrispondere agli otto nodi discendenti della radice. Ora questo procedimento viene applicato ricorsivamente fino ad arrivare alla dimensione desiderata dei cubetti che in gergo vengono chiamati voxel. Questa struttura ha gli stessi punti deboli della precedente infatti la suddivisione dello spazio è la medesima e di conseguenza anche l'occupazione di risorse, però risulta adatta quando si devono applicare algoritmi per il rendering o per il calcolo di volumi.
- **Geometria solida costruttiva (constructive solid geometry CSG)**: questa tecnica rappresenta gli oggetti combinando semplici oggetti geometrici chiamati primitive geometriche attraverso delle trasformazioni lineari, come traslazioni rotazioni e ridimensionamenti, e o delle operazioni booleane, come unione intersezione e differenza. Le primitive geometriche che solitamente vengono utilizzate sono cubi sfere cilindri e coni. Naturalmente più primitive vengono utilizzate per descrivere un oggetto maggiore sarà lo spazio di memoria e la potenza di calcolo

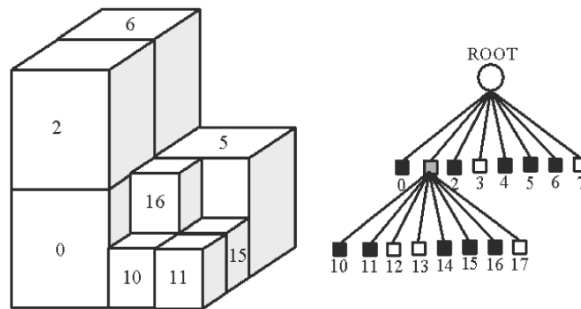


Figura 2.9: Esempio di Octree

utilizzati, proprio per questo motivo questa tecnica è più utile a rappresentare oggetti regolari e quindi in applicazioni CAD/CAM che non nei GIS

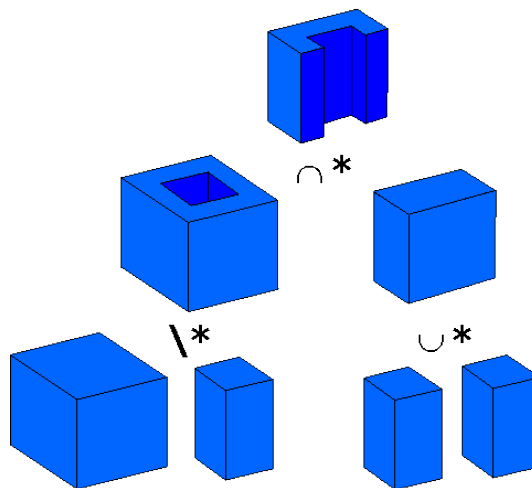


Figura 2.10: Esempio di geometria solida costruttiva

- **3D-TIN o TEN (tetrahedral network)** : si tratta di una semplice estensione della rappresentazione TIN esposta sopra, in cui un oggetto viene rappresentato da un certo numero di tetraedri connessi tra di loro ma non sovrapposti che possono essere generati con tecniche molto simili alle TIN. Questo tipo di struttura è di facile implementazione ed inoltre permette rapide elaborazioni topologiche e di visualizzazione. Vi sono comunque anche degli aspetti limitanti ad esempio nella rappresentazione di elementi che hanno nodi (cioè i vertici dei tetraedri) con le medesime coordinate X e Y ma con diverse altezze come ad esempio

pozzi o trivellazioni, in questi casi infatti anche se è possibile utilizzare i TEN il modello che si ottiene risulta essere molto complicato.

2.3 Visualizzazione

Lo scopo principale di un GIS è sicuramente quello di fornire aiuto nel prendere decisioni riguardanti il territorio o comunque che dipendono da esso. Per questo un aspetto fondamentale che deve essere fornito da un software GIS è quello di visualizzare nel modo più chiaro possibile i vari elementi che sono stati digitalizzati.

Nonostante la computer grafica abbia fatto passi da giganti nello sviluppo di algoritmi per l'elaborazione di rendering foto realistici, c'è da dire che non sempre questi sono applicabili nei GIS questo perché vi è un enorme discrepanza tra la quantità di dati utilizzati nelle due discipline, ed in più tali processi non forniscono risultati in tempo accettabile. Inoltre a seconda dei casi sono richiesti livelli di dettaglio differenti, il più semplice di questi è l'applicazione di colorazioni monocromatiche alle superfici. Un dettaglio superiore e sicuramente ottenuto attraverso l'assegnazione di un materiale ad un oggetto, il motore di rendering quando elabora l'oggetto da visualizzare ne terrà conto e vi assegnerà una serie di parametri propri del materiale come ad esempio colore, trasparenza, lucentezza. Questa tecnica comunque in ambito GIS è poco utilizzata, mentre quella sicuramente più applicata è quella della texturizzazione, nella quale le superfici vengono coperte da immagini di tipo raster. Possono essere usate due differenti strategie, la prima è quella di ricoprire la superficie con un'immagine di piccole dimensioni ripetuta più volte sopra l'intera superficie. La seconda invece consiste nel giustapporre una fotografia dell'oggetto reale sopra l'oggetto digitale, con quest'ultima tecnica si ottiene un effetto realistico ma richiede più spazio in memoria.

Un'altra cosa che è possibile fare nei GIS attuali è la possibilità di visualizzare i risultati delle analisi per facilitarne la comprensione, infatti certe analisi sono più semplici da capire se vengono mostrate direttamente nel modello 3D rispetto ai puri risultati numerici. In questo caso, a seconda della tipologia di analisi, possono essere fatte due operazioni, o vengono applicati dei tematismi alle al modello, questo è il caso dell'analisi del rumore, oppure possono essere inseriti degli elementi geometrici per esempio nell'analisi delle inondazioni viene fatto salire un piano orizzontale in modo graduale per verificare dove interseca il DTM.

Un altro aspetto molto importante nella visualizzazione di un ambiente tridimensionale è la possibilità di navigarci all'interno. Questa capacità è misurata dai gradi di libertà di movimento del punto di vista che il software

fornisce, in totale sono sei e sono le traslazioni e le rotazioni rispetto ai tre assi come mostrato in figura 2.12. Alcuni software permettono di automatizzare i movimenti della visuale impostando dei percorsi così da ottenere una sorta di filmato.

2.4 Analisi per dati geografici 3D

La visualizzazione del territorio 3D talvolta non basta a fornire un valido supporto decisionale, si devono anche fare delle elaborazioni su dati. Per questo motivo i software GIS, anche quelli bidimensionali, hanno sempre avuto degli strumenti per analizzare il territorio. Con l'avvento della terza dimensione quindi è stato possibile introdurre nuove tipologie di analisi che prenderemo in considerazione in questo paragrafo.

2.4.1 Analisi del rumore

Questo tipo di analisi sta avendo un'attenzione sempre più crescente negli ultimi anni, nella pianificazione urbanistica. Si studia, attraverso delle formule che forniscono delle stime, il rumore provocato da diverse fonti come strade o impianti industriali, e se questo può essere accettabile per la popolazione che è presente nelle vicinanze.

Questo tipo di analisi era già possibile farla nelle mappe 2.5D ma era molto limitata, infatti utilizzando un modello realmente tridimensionale vi è la possibilità di impostare i materiali dei muri e quindi il loro isolamento acustico, o ancora è possibile suddividere l'edificio in sottovolumi con la possibilità quindi di poter avere i dati del rumore anche all'interno di una singola stanza e poter ottenere anche la propagazione verticale del rumore.

2.4.2 Analisi delle inondazioni

L'analisi delle inondazioni fornisce un valido strumento nella creazione di piani di emergenza nel caso di inondazioni, infatti con questo strumento è possibile fare delle simulazioni realistiche e progressive dell'innalzamento del livello dell'acqua in una zona a rischio permettendo così di prevedere per esempio quali saranno gli edifici che per primi saranno allagati e pianificare piani di evacuazione di conseguenza.



Figura 2.11: Esempio di analisi delle inondazioni

2.4.3 Analisi della linea di vista (line of sight analysis)

Questo tipo di analisi permette di studiare l'intervisibilità tra due punti in un certo ambiente 3D, utile per esempio nello studio dell'impatto visivo che può avere un nuovo edificio, o per la decisione sul posizionamento di antenne radiotrasmittenti che lavorano con frequenze che necessitano l'assenza di ostacoli nella direzione di trasmissione.

2.4.4 Analisi dell'andamento del terreno

In questa tipologia di analisi rientrano vari procedimenti che studiano l'andamento del terreno, come ad esempio l'analisi della pendenza, che rappresenta l'angolo di più ripida pendenza, l'analisi della direzione della pendenza (aspect) che sarebbe l'orientazione del gradiente e l'analisi della curvatura di profilo e tangenziale che rappresentano il rapporto di cambiamento dell'ampiezza e della direzione del gradiente rispettivamente.

Dalle tecniche di analisi appena elencate derivano quelle dello studio del flusso delle pendenze grazie alle quali si possono ricavare gli sparti acque, le direzioni di incanalamento dell'acqua. Oppure possono essere fatte delle analisi di esposizione alla luce del sole che sono importanti per la pianificazioni di aree di coltivazione oppure per la stima dell'energia ottenuta dall'installazione di pannelli fotovoltaici.

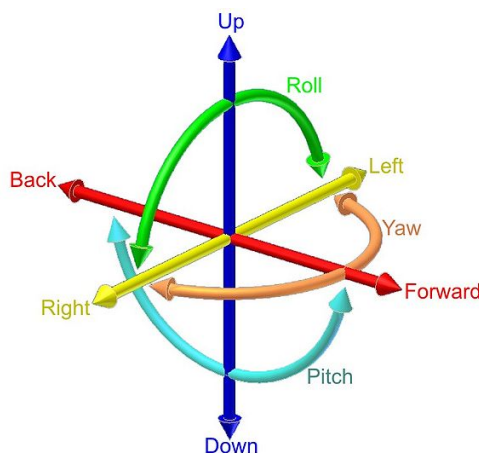


Figura 2.12: Disegno raffigurante i sei gradi di libertà

2.5 Standardizzazione dei dati 3D : CityGML

Una delle caratteristiche dei dati geo spaziali, di qui fanno parte anche quelli 3D, è che molto spesso devono essere scambiati tra le varie aziende od enti che sono coinvolte nel processo di gestione del territorio. Non è raro però questi abbiano software differenti per trattare queste informazioni, è quindi necessario adottare degli standard in modo tale da favorire l'interoperabilità.

L' O.G.C. (Open Geospatial Consortium) che è un'organizzazione no-profit composta da molte aziende, governi ed università che opera a livello mondiale, è stato fondato proprio con lo scopo di realizzare standard internazionali aperti, e quindi disponibili a tutti gratuitamente, per dati e servizi geo-spaziali. Fino ad ora ha realizzato all'incirca 40 specifiche standard tra cui un linguaggio di markup derivante da XML ma pensato per definire modelli di dati geo-spaziali, GML3 (Geographic Markup Language).

Un altro standard realizzato dall'OGC è CityGML, un modello derivato dalle specifiche di GML e che è stato ideato per memorizzare e scambiare rappresentazioni tridimensionali di elementi urbani. Gli oggetti del mondo reale vengono rappresentati sia sotto un aspetto geometrico/topologico sia sotto un aspetto semantico, in modo coerente tra loro. Esistono quindi due gerarchie delle relazioni, una derivante dal livello semantico, e l'altro derivante dal livello geometrico, queste due gerarchie devono comunque rappresentare, seppur in maniera differente, le medesime caratteristiche. Per esempio se a livello semantico un muro presenta una porta e delle finestre a livello geometrico, la rappresentazione geometrica dovrà presentare i buchi della porta e delle finestre.

Il modello geometrico utilizzato è il B-rep, come accennato sopra, ma

sono anche supportate le TIN usate per la rappresentazione del terreno. Vi è la possibilità di conservare dati relativi agli aspetti visivi come ad esempio texture o materiali delle superfici, ma anche tematismi derivanti vari tipi di analisi, come ad esempio analisi del rumore.

In CityGML ogni oggetto può essere rappresentato, anche contemporaneamente nello stesso modello, in cinque diversi livelli di dettaglio che sono:

- **LOD 0** : si rappresenta solamente l'andamento altimetrico del terreno, sono quei modelli detti anche in 2.5D. Gli edifici non sono rappresentati tridimensionalmente ma risultano appiattiti sulla superficie.



Figura 2.13: Esempio LOD0

- **LOD 1** : molto simile al precedente ma in questo caso gli edifici vengono rappresentati come blocchi grezzi di uno o pochi colori artificiali.



Figura 2.14: Esempio LOD1

- **LOD 2** : un po' più particolarizzata, agli edifici e agli oggetti 3D vengono applicate delle texture e vengono raffigurati anche le forme dei tetti, viene aggiunto l'arredo urbano ma in maniera stilizzata.



Figura 2.15: Esempio LOD2

- **LOD 3** : gli edifici non appaiono più stilizzati ma appaiono particolarizzati e simili al vero, aggiungendo i dettagli delle facciate degli edifici e mostrando gli elementi di arredo urbano con modelli realistici.



Figura 2.16: Esempio LOD3

- **LOD 4** : completa rappresentazione della realtà con la possibilità di spostarsi liberamente anche all'interno degli edifici.

2.6 Soluzioni per il salvataggio di dati 3D tramite DBMS

La grande mole di geo-dati che ci si trova a maneggiare e la necessità di interoperabilità necessaria quando si utilizza un software gis, hanno portato all'utilizzo di database e sistemi per la loro gestione (DBMS) per la conservazione dei dati geo-spaziali.

I DBMS forniscono infatti una più rapida fruizione dei dati grazie alla possibilità di indicizzarli, nella fattispecie per dati 3D le strutture dati più comunemente utilizzate per questo scopo sono gli R-tree, gli R*-tree e i GiST



Figura 2.17: Esempio LOD4

(Generalized Search Tree) che rappresenta una generalizzazione dei primi due.

I DBMS erano già utilizzati per la rappresentazione dei dati bidimensionali, ora che si è cominciato ad utilizzare anche la terza dimensione sono stati modificati o introdotti nuovi metodi per permettere anche la sua gestione. Un primo metodo è stato quello di utilizzare un sistema di riferimento tridimensionale per le primitive bidimensionali, ed utilizzare queste per rappresentare i confini degli elementi 3D. Questa soluzione però ha il problema che il DBMS non riconosce l'oggetto creato come un oggetto 3D ma come un insieme di primitive bidimensionali, e questo dà la possibilità, senza la creazione di sistemi di controllo, di inserire nel database qualsiasi agglomerato di poligoni. Per ovviare alle problematiche del modello precedente sono state pensate delle primitive tridimensionali che sono:

- **Tetraedri** : sono le primitive 3D più semplici ma non sono molto efficienti in termini di spazio, visto che un oggetto reale complesso può richiedere molti tetraedri per essere rappresentato.

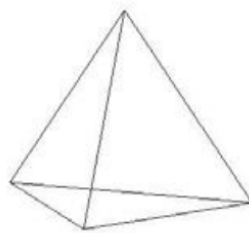


Figura 2.18: Tetraedro

- **Poliedro** : è l'equivalente del poligono in 3D, è formato dalla composizione di più facce piate, ha la peculiarità che ad ogni oggetto reale

può essere associato un unico poliedro e quindi un risparmio in termini di spazio. Lo svantaggio invece è la difficoltà di rappresentare caratteristiche rotondeggianti.

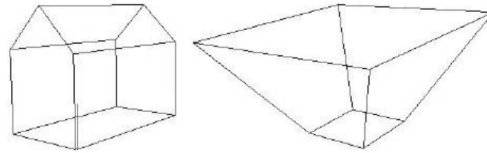


Figura 2.19: Poliedro

- **Polidri + sfere e cilindri** : Queste primitive assieme risolvono i



Figura 2.20: Poliedri + sfere e cilindri

problemi precedenti ma sono molto più difficili da gestire.

Capitolo 3

Panoramica di software GIS con funzionalità 3D

In questo capitolo vengono mostrati i più importanti software GIS e DBMS, sia commerciali che FOSS, disponibili attualmente che gestiscono i dati geospaziali in tre dimensioni.

3.1 Autodesk Autocad Map 3D

Autodesk Autocad Map 3D è un software GIS che fa parte di una suite per la gestione e progettazione delle infrastrutture. Map 3D ha il compito di gestire ed analizzare i dati territoriali in tre dimensioni.

3.1.1 Modellazione

Gli oggetti 3D gestiti da Map 3D sono:

- **i punti COGO** (COordinate GeOmetry): sono degli oggetti che oltre alle tre coordinate che li individuano nello spazio si ha anche la possibilità di assegnargli un nome e possono essere rappresentati da qualsiasi simbolo o elemento tridimensionale, e quindi se per esempio si ha un gruppo di punti COGO che rappresentano la posizione dei lampioni in una strada, come simbolo potrà utilizzare il modello 3D di un lampione.
- **le superfici 3D**: sono le rappresentazioni geometriche di porzioni del territorio, è su queste che Map 3D può eseguire le analisi che vedremo in seguito. Vi sono quattro tipi di superfici gestite da questo software e sono TIN, griglia, superfici volumetriche TIN e superfici volumetriche a griglia. Gli ultimi due tipi non sono altro che una coppia di superfici

TIN o griglia e sono utilizzate per esempio quando si vuole indicare l'andamento reale del terreno e quello che si vuole ottenere usato nella creazione di diagrammi delle aree di sterro e riporto.

Map 3D possiede degli strumenti per ottenere i due tipi di oggetti elencati sopra: i punti COGO possono essere convertiti da vari tipi di rilevazione tra cui il LiDAR, infatti è possibile gestire centinaia di milioni di punti come mostrato in figura 3.1, oppure possono essere creati manualmente. Le superfici invece, possono essere convertite da gruppi di punti COGO, da curve di livello, da linee di discontinuità da contorni e oggetti carta.

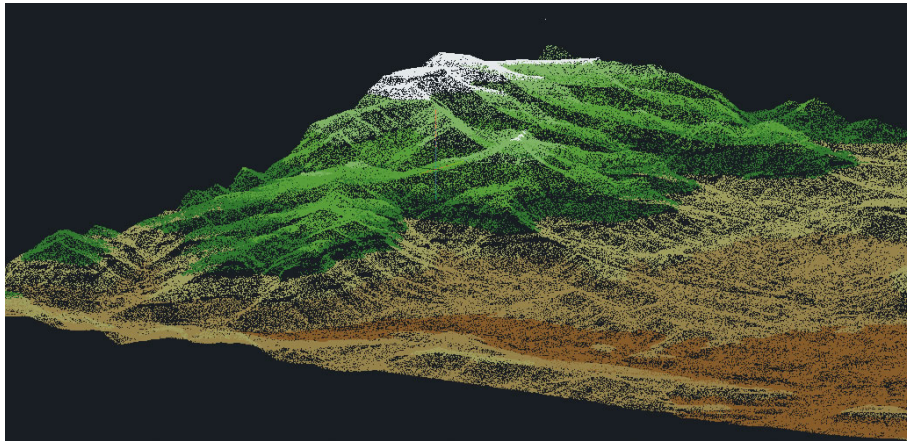


Figura 3.1: Nuvola di punti gestita con Map 3D

Map 3D non possiede strumenti per la modellazione manuale degli elementi tridimensionali, comunque è presente nella suite Autodesk un altro software pensato per questo scopo che si chiama Autocad Civil 3D. I modelli creati con questo programma possono poi essere importati in Map 3D senza problemi.

3.1.2 Visualizzazione

Map 3D permette di stendere sopra le superfici immagini raster come ad esempio aerofotografie del terreno, oppure immagini o elementi vettoriali che possono essere per esempio piante degli edifici per permettere una più chiara comprensione del modello tridimensionale.

Possono essere applicati dei tematismi alle nuvole di punti importate dalle rilevazioni LiDAR base a varie classificazioni: LAS, RGB, quota altimetrica ed altre.

In aggiunta nella suite è presente Navisworks che permette di navigare all'interno della rappresentazione 3D permettendo un movimento della visuale con sei gradi di libertà ed il settaggio di punti di vista fissi o mobili.

3.1.3 Analisi

In Map 3D sono presenti strumenti per lo studio dei bacini idrici ed il deflusso delle acque nel terreno e nelle fognature e per la simulazione di inondazioni.

3.1.4 Applicazioni collegate

Un software prodotto dalla stessa Autodesk per la progettazione BIM di infrastrutturale per il trasporto, lo sviluppo territoriale e la gestione di risorse idriche, è Autocad Civil 3D. Questo software possiede degli strumenti per la modellazione tridimensionale, ed i modelli creati sono poi pienamente compatibili con Autocad Map 3D.

3.2 Bentley Map

Questa soluzione software GIS prodotta dalla Bentley, è una piattaforma progettata appositamente per lavorare in un ambiente tridimensionale, anche se comunque mantiene tutte le funzionalità tipiche dei classici GIS bidimensionali. Bentley Map fa parte di un insieme di software che fornisce gli strumenti a ingegneri, tecnici e progettisti per mappare, pianificare, progettare e realizzare infrastrutture di ogni genere.

3.2.1 Modellazione

Nell' ultima versione di Bentley Map cioè la V8i SELECTseries II, è stato integrato un ambiente CAD mettendo così a disposizione dell'utente una serie di strumenti per la modellazione avanzata di elementi 3D permettendo di ottenere alti livelli di dettaglio. Gli elementi tridimensionali sono rappresentati con modelli vettoriali quali TIN per quanto riguarda il modello del terreno, mentre per gli edifici e le strutture in genere si utilizza la B-rep oppure tecniche di geometria solida costruttiva che permettono una realizzazione più precisa. Inoltre Bentley Map dà la possibilità non soltanto di modellare strutture sopra al terreno come ad esempio strade o edifici, ma anche sottoterra e quindi progettare e rappresentare per esempio le fognature come mostrato in figura 3.2.

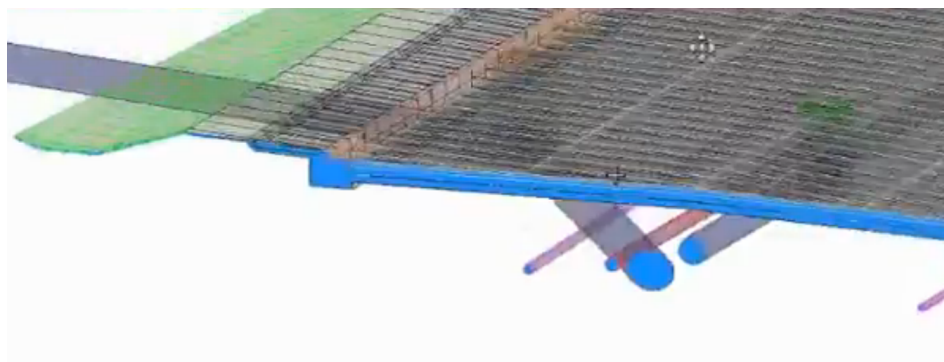


Figura 3.2: Modellazione di infrastrutture sotterranee

Con l'ausilio di altri pacchetti software, alcuni sviluppati dalla stessa Bentley, quali PowerSurvey, GEOPAK Survey e InRoads Survey è possibile importare dati da svariati tipi di rilevazioni compresi LiDAR, aerofotogrammetrie e rilievi GPS per poterli poi elaborare e ottenere DTM o modelli degli edifici.

3.2.2 Visualizzazione

Bentley Map ha al suo interno un potente motore di rendering che permette di rappresentare il modello tridimensionale in vari tipologie di visualizzazione come ad esempio coprendo le linee nascoste, applicando trasparenze, monocromatica, smussata ecc. Riesce inoltre a gestire immagini applicate alle superfici tridimensionali anche in alta qualità, e a gestire le ombreggiature permettendo così di ottenere risultati foto-realistici. Oppure vi è la possibilità di applicare dei tematismi alle superfici per visualizzare i risultati di analisi o interrogazioni come mostrato in figura 3.4.



Figura 3.3: Esempio di visualizzazione di elementi in alta definizione con Bentley Map

Possono essere inseriti nella scena 3D dei punti di vista impostando le loro posizioni e le loro direzioni, attraverso i quali possono essere ottenute immagini o video con la possibilità per questi ultimi di creare un percorso da seguire così da realizzare dei voli attraverso il modello.

3.2.3 Analisi

Vi sono molte tipologie di analisi tridimensionale presenti in Bentley Map, tra cui l'analisi delle ombre molto accurata, infatti se si ha un territorio geo-localizzato è possibile impostando una data ed un orario preciso ottenere l'esatta posizione delle ombre, in più si possono realizzare animazioni per mostrare come queste variano nell'arco di un periodo scelto.

Altro potente strumento di analisi presente in questo software è l'analisi di scontro utile per verificare la fattibilità in termini spaziali di un'infrastruttura ma anche per analizzare un flusso di onde elettromagnetiche interferiscono con altri elementi.

Altre tipologie di analisi è la simulazione delle inondazioni, e l'analisi delle propagazioni del rumore proveniente dalle strade, un possibile risultato di quest'ultima tipologia di analisi è mostrata in figura 3.4.

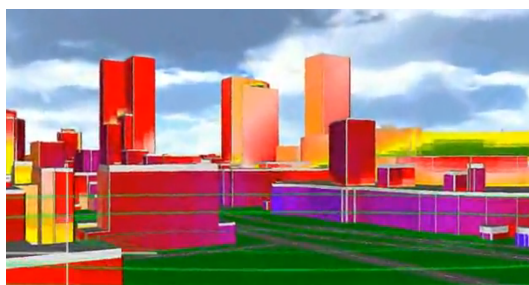


Figura 3.4: Visualizzazione di un'analisi della propagazione del rumore

3.2.4 Applicazioni collegate

Bentley mette a disposizione poi una serie di altre applicazioni più specializzate che coprono moltissimi aspetti di gestione e progettazione del territorio utilizzando tecnologie tridimensionali tra cui i principali sono:

- **Bentley MXROAD** : serve per la progettazione di strade ed autostrade, e nonostante integri principalmente degli strumenti CAD per il disegno tecnico di queste, possiede anche strumenti per la creazione del terreno e l'analisi di DTM.

- **Bentley Navigator** : pensato per chi deve revisionare o analizzare un progetto e quindi integra strumenti di navigazione molto versatili che permettono la navigazione nel modello 3D. Inoltre il modello risulta essere interattivo con la possibilità di selezionare singoli elementi per eseguire delle semplici interrogazioni come ad esempio calcolo dei volumi e delle aree.

3.3 Esri 3D Analyst

Esri 3D Analyst è un'estensione di ArcGis, noto applicativo GIS bidimensionale, che aggiunge ad esso dei potenti strumenti per la visualizzazione e l'analisi delle informazioni territoriali tridimensionali e per la generazione di superfici. Questo pacchetto implementa vari strumenti per la visualizzazione e l'analisi di terreni, inoltre dà la possibilità di creare dati tridimensionali di tipo raster e vettoriale nello stesso modello per una più chiara comprensione.

3.3.1 Modellazione

In questo software vengono integrati degli strumenti per la generazione di TIN partendo da vari tipi di dato per esempio punti dotati di coordinate spaziali ottenuti tramite fotogrammetrie, radar, gps, laser o rilevamenti. Vista la natura discreta di alcuni di questi dati, 3D Analyst è dotato di moltissimi algoritmi di interpolazione per la determinazione dei punti non campionati.

Sono presenti dei metodi per l'estrusione di elementi bidimensionali, come mostrato in figura 3.5, effettuabili definendo delle regole per l'estrusione, cioè dei criteri che verranno usati dal programma per eseguire l'estrusione, come ad esempio che ogni planimetria debba essere alzata di 3 metri per ogni piano dell'edificio a cui appartiene.

3.3.2 Analisi

3D Analyst viene fornito con degli strumenti di analisi dei modelli tridimensionali che possono essere catalogati in due gruppi, Strumenti per l'analisi delle superfici e strumenti per l'analisi di visibilità.

- Gli strumenti per l'analisi delle superfici servono principalmente per lo studio dell'andamento del terreno. Questi strumenti sono: analisi delle pendenze, l'analisi della direzione della pendenza. Vi è poi anche, l'analisi dell'illuminazione (hillshade), l'analisi del profilo (profile). In fine vi sono strumenti più semplici ma altrettanto utili per il calcolo di



Figura 3.5: Estrusione di elementi bidimensionali eseguito con Esri 3D Analyst

aree e volumi, il tracciamento delle curve di livello e del tracciato di massima pendenza.

- Con gli strumenti per l'analisi della visibilità si può verificare se un punto nella mappa viene visto da una serie di altri punti fissati (viewshed) utile per l'identificazione di un'area per il posizionamento di un'antenna per le telecomunicazioni. Oppure lo studio della visibilità di un punto rispetto ad un altro attraverso una superficie (line of sight).

3.3.3 Visualizzazione

3D Analyst permette una visualizzazione interattiva delle informazioni tridimensionali, con la possibilità di guardare un qualsiasi elemento da ogni angolo di visuale, di ruotare o muovere in tutte le direzioni il punto di vista. Con ciò si permette all'utente di compiere dei veri e propri voli sopra le mappe tridimensionali. Vi è la possibilità di dotare la scena che si sta visualizzando con delle sorgenti di luce le quali possono essere regolate sotto vari parametri come la direzione da cui far provenire la luce, l'angolo formato con l'orizzonte ed il contrasto (intensità che viene data alle ombre). Sulle superfici visualizzate possono essere anche applicati vari tipi di dati bidimensionali come file CAD, shapefile (formato file vettoriale, sviluppato dalla stessa ESRI, per la rappresentazione di identità geometriche e delle loro informazioni associate) ed è anche supportata la spalmatura (draping) di immagini lungo le superfici, come ad esempio foto satellitari o aeree, in modo da fornire un aspetto più realistico.

3.3.4 Applicazioni collegate

Esri produce un altro software specializzato nella visualizzazioni e la creazione di modelli tridimensionali di modelli di città, si tratta di Esri CityEngine. Con questa applicazione è possibile, a partire da dati bidimensionali creare delle simulazioni di città con un altissimo livello di dettaglio, compreso dettagli delle facciate, dei tetti e dell'arredo urbano il tutto generato dal programma con la possibilità di impostare vari parametri come la tipologia di facciate, il range delle altezze degli edifici. Questo programma risulta utile ad esempio per la pianificazione urbana.



Figura 3.6: Esempio di città generata con Esri CityEngine

3.4 Intergraph GeoMedia 3D

Geomedia è una suite di applicazioni integrate tra loro che forniscono una serie di strumenti adatti alla gestione delle infrastrutture e del territorio, creazione di mappe ed anche supporti per operazioni di difesa ed intelligente. Geomedia 3D fa appunto parte di questa suite che aggiunge un ambiente di visualizzazione ed analisi tridimensionale.

3.4.1 Modellazione

Le capacità di modellazione 3D di questo software sono praticamente inesistenti, essendo un'estensione pensata per aggiungere principalmente delle capacità di visualizzazione ed analisi tridimensionale a Geomedia. Vi è la possibilità di estrarre delle superfici dalla mappa in funzione dei parametri di queste ultime o, utilizzando un altro programma presente nella suite che è Geomedia Terrain è possibile invece creare modelli digitali del terreno.

3.4.2 Visualizzazione

Geomedia 3D permette di visualizzare aspetti del mondo reale in 3D fornendo uno strumento di navigazione che permette di controllare la finestra di visualizzazione con sei gradi di libertà. Permette di visualizzare i risultati delle analisi applicando dei tematismi oppure inserendo nella mappa dei modelli tridimensionali che favoriscono la comprensione come mostrato nella foto 3.7.

Vi è la possibilità di impostare delle immagini come texture alle superfici e possono essere importati elementi che rispettano lo standard CityGML.



Figura 3.7: Finestra di navigazione di Intergraph geomedia 3D

3.4.3 Analisi

Al momento non sono integrati strumenti di analisi all'interno di Geomedia 3D ma sono comunque in fase di sviluppo l'analisi delle ombre e l'analisi della linea di vista (line of sight). Permette quindi soltanto di visualizzare i risultati delle analisi delle altre applicazioni presenti nelle suite Geomedia.

3.5 GRASS

GRASS (Geographic Resources Analysis Support System) è un software GIS open source e gratuito usato per gestire dati geo-spaziali sia bi che tridimensionali. Fornisce molti strumenti per la modellazione, la visualizzazione e l'analisi, inoltre è possibile svilupparne, sulla base di questi, altri vista la natura open del prodotto.

3.5.1 Modellazione

Questo software supporta modelli dei dati sia raster, quali array 3D o griglia, che vettoriali, quali b-rep e TIN, con la possibilità di eseguire delle conversioni tra loro. Nonostante non siano presenti degli strumenti per la modellazione manuale degli elementi tridimensionali, questi ultimi possono essere ottenuti in vari altri modi, ad esempio dall'elaborazione di dati lidar si ottengono modelli digitali del terreno sia in forma di griglia che come TIN. Oppure possono essere estrusi elementi bidimensionali definendo delle regole, che in funzione di vari attributi di questi, ne specifichino la terza dimensioni.

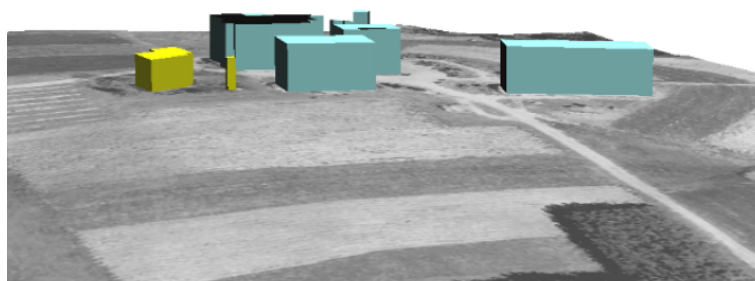


Figura 3.8: Esempio di estrusione fatto con GRASS

Possono essere create superfici multiple utili per mostrare ad esempio le zone di sterro o riporto, si possono anche eseguire delle sezioni trasversali per permettere la visione dei vari strati.

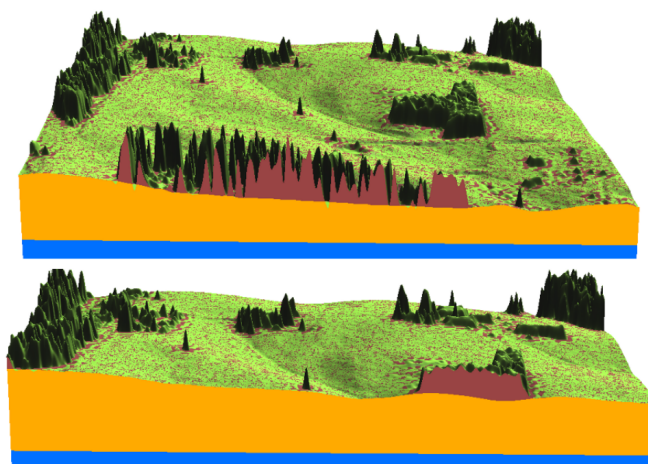


Figura 3.9: Esempi di superfici multiple sezionate

3.5.2 Visualizzazione

Grazie ad uno strumento compreso all'interno di GRASS, chiamato *nviz*, è possibile compiere varie operazioni di visualizzazione dei dati tridimensionali. Possono essere applicati sul modello immagini per ottenere un effetto realistico, il modello che si sta visualizzando può essere mostrato con vari livelli di dettaglio.

Per visualizzare i risultati delle analisi direttamente sul modello tridimensionale possono essere applicati dei tematismi su di esso oppure per analisi che restituiscano dei punti precisi nella mappa anche possono essere inseriti degli elementi esterni per una più rapida visualizzazione.

Nviz prevede anche la gestione dell'illuminazione in modo dinamico con la possibilità di agire su vari parametri come intensità, posizione, colore e dispersione.

Il sistema di visualizzazione permette di navigare nell'ambiente tridimensionale in modo interattivo consentendo di impostare il punto di vista modificando l'altezza, la direzione e lo zoom. Inoltre attraverso un sistema di scripting si possono realizzare anche animazioni molto complesse con la possibilità di modificare ogni aspetto della scena 3D, come per esempio posizionamento del punto di vista, piani di taglio, dati vettoriali e volumetrici. utile per esempio :

- per mostrare il cambiamento del territorio in rilevazioni successive
- per mostrare il risultato di analisi come ad esempio crescita urbana o migrazione di specie animali

3.5.3 Analisi

Con GRASS è possibile eseguire delle operazioni di analisi anche sugli aspetti tridimensionali, per esempio è possibile eseguire delle interrogazioni sulla mappa 3D semplicemente selezionando nell'apposita finestra gli attributi che si vogliono studiare e successivamente selezionando sulla mappa i punti o le zone di interesse.

Possono essere fatti calcoli delle superfici o dei volumi, in più GRASS permette di eseguire varie analisi sulle caratteristiche del DTM tra cui: analisi della pendenza, direzione della pendenza, curvatura della superficie lungo la direzione di massima pendenza o lungo le curve di livello. Ed inoltre possono essere eseguita un'analisi del flusso delle pendenze che dal quale si possono ricavare gli sparti acque e come l'acqua defluisce lungo il terreno. Ed ancora permette l'analisi delle linee di vista.

Questo programma come visto prima supporta l'illuminazione dinamica e grazie a questo è possibile eseguire l'analisi delle ombre e verificare l'esposizione alla luce.

3.6 DBMS spaziali

In questa sezione verranno mostrati alcuni dei principali software per la gestione di database che implementano funzionalità spaziali tridimensionali.

3.6.1 Oracle Spatial

Oracle Spatial prevede la possibilità di gestire dati tridimensionali attraverso l'utilizzo di primitive bidimensionali quali punti, linee, superfici, TIN, nuvole di punti. Ma è anche l'unico DBMS che implementa primitive tridimensionali, semplici solidi racchiusi tra superfici piane come cuboidi o tronchi, o anche solidi più complessi formati giustapponendo solidi semplici. Oracle spatial fornisce degli strumenti per elaborare queste primitive, è possibile verificare se esistono delle relazioni tra due di queste, verificare la distanza tra di esse, eseguire il calcolo del volume o la verifica se un determinato oggetto è contenuto in un altro, queste ultime due applicabili solamente alle primitive 3D.

3.6.2 PostgreSQL + PostGIS

PostgreSQL è un DBMS relazionale ad oggetti open source che di per sé non implementa funzionalità spaziali, ma un'azienda canadese che necessitava di un database spaziale, la Refrictions, ha realizzato una sua estensione chiamata PostGIS anch'essa open source.

Con questo strumento è possibile memorizzare solamente superfici poliedriche o TIN ma non sono presenti strumenti per poter verificare la loro correttezza, in ogni caso è possibile implementarli. Su queste superfici è possibile eseguire vari operatori messi a disposizione da PostGIS come ad esempio il calcolo dell'area e operazioni di esportazione in vari formati.

Capitolo 4

Conclusioni

Nel realizzare questa tesina nella quale ho mostrato, a mio avviso, gli aspetti più importanti riguardanti la tecnologia 3D applicata ai software GIS, ho dovuto leggere molti documenti relativamente recenti, che trattavano di studi su questo argomento, ed ho notato che tutti comunque concordavano sul fatto che questo campo non è maturo e vi è un ampio lavoro di ricerca. Molti problemi devono ancora essere risolti, uno su tutti, lo studio di primitive 3D per i geo-database. Ciononostante non vi sono dubbi sui benefici che porta la tecnologia 3D nell'ambito geo-spaziale.

Bibliografia

- [1] A. Abdul-Rahman, M.Pilonk, *Spatial Data Modelling for 3D GIS*, Springer, 2010.
- [2] P. van Oosterom, S. Zlatnova, F.Penninga, E. Fendels (Eds.), *Advances in 3D Geoinformation Systems*, Springer, 2008.
- [3] *ArcGIS 3D Analyst: Three-Dimensional Visualisation, Topographic Analysis, and Surface Creation*, ESRI White Paper, 2002.
- [4] *GeoMedia 3D*, Integraph White Paper.
- [5] Gabriele Congiu, *Autodesk Map 3D dal CAD al GIS tridimensionale*, GC Edizioni, 2006.
- [6] M. Breuing, S. Zlatanova, *3D geo-database reserch: Retrospective and future directions*, Computer & Geosciences 37, 2011.
- [7] Xiaojun Tan, Fulling Bian, Jun Li, *Research on Object-Oriented Three Dimensional Data Model*, 2002.
- [8] Siyka Zlatanova, Alias Abdul Rahman, Morakot Pilouk, *3D GIS: Current status and prespectives*, 2002.
- [9] Markus Neteler, Helena Mitosova, *Open Source GIS, A GRASS Approach third Ediction*, Spring, 2007.