

Analisi delle variazioni altimetriche in un'area studio del delta del Po

Stefano PICCHIO*

* Dipartimento di Pianificazione, Università IUAV di Venezia (S.Croce, 1961 – 30135 Venezia)
ste.picchio@tiscali.it

Riassunto

Questo studio, condotto dall'Università IUAV di Venezia, in collaborazione con la Regione Veneto, ha come obiettivo la realizzazione di un modello tridimensionale del terreno (DSM-DTM) con tecnologia laser-scanning, in grado di fornire un modello dello stato attuale del territorio, e il suo confronto, in prospettiva storica, con le basi dati tridimensionali esistenti, al fine di individuare le variazioni altimetriche in atto in un'area studio del territorio del delta del Po.

Abstract

This study, conducted by IUAV University and "Regione del Veneto", wants to realize a Digital Terrain Model (DTM) and a Digital Surface Model (DSM) using laser-scanning technology. This technology is able to produce real model of the actual situation of a territory and the comparison, in a historical outlook, with others three-dimensional databases, in order to detect altimetric alterations over an study area located in Po's delta.

Introduzione

Il territorio del delta del Po è caratterizzato da alcuni importanti processi dinamici, collegati principalmente alla particolare situazione altimetrica presente. Il suolo si trova per lo più al di sotto del livello medio marino e quindi è oggetto di tutele e particolari politiche di difesa del suolo. Dal punto di vista geologico ed idraulico, le problematiche più importanti riguardano:

- la subsidenza (naturale e antropica), cioè il costante e progressivo abbassamento dei suoli che ha portato ad un abbassamento di alcune zone fino a 4 metri sotto il livello del mare;
- la rigidità della rete idrografica locale, causata dagli interventi di semplificazione della rete e di canalizzazione dei fiumi in alvei artificiali;
- la riduzione del trasporto solido da parte dei fiumi, l'innalzamento del letto oltre il piano di campagna (fiumi pensili) ed il conseguente innalzamento di grandi argini;
- l'innalzamento eustatico del livello del mare.

Data la particolare vulnerabilità dell'area e, considerate le problematiche sopra esposte, è stata sperimentata un'analisi della modellazione altimetrica. L'obiettivo è stato quello di confrontare tutti i prodotti altimetrici a disposizione, al fine di valutare il fenomeno della subsidenza nel territorio deltizio e fornire un quadro conoscitivo a supporto delle politiche di governo del territorio.

L'area di studio (5620 ha) comprende gran parte del territorio del Comune di Porto Viro, tra il Po di Levante a Nord, il Po di Venezia a Sud, la S.S. 309 Romea ad Ovest e le Valli Moraro e Cà Pasta ad Est, che comprende il bacino Mea di 1350 ha. Quest'area è caratterizzata dalla situazione altimetrica tipica del Delta del Po, con terreni completamente al di sotto del livello del mare, la presenza di alcuni insediamenti urbani, tra cui parte della località di Contarina, ed alcune zone di espansione industriale da urbanizzare (Figura 1).



Figura 1 – L'area di studio nel comune di Porto Viro (RO)

La scelta inoltre è dovuta anche alla disponibilità di dati altimetrici recenti e di modelli digitali del terreno utili al confronto con la situazione attuale.

Il progetto, in collaborazione tra la Regione Veneto e l'Università IUAV di Venezia, ha previsto un rilievo con tecnologia LIDAR (*Light Detection and Ranging*), l'implementazione dei relativi modelli digitali della superficie (DSM) e del terreno (DTM), il rilievo delle linee di livellazione di alta precisione appartenenti alla rete altimetrica fondamentale, di una rete GPS di precisione, la rappresentazione della domanda informativa espressa dai soggetti istituzionali coinvolti e, infine, la realizzazione di una "base di conoscenza" che delinea un quadro informativo finale in funzione delle tematiche che maggiormente caratterizzano il territorio del Delta del Po quali la sicurezza/difesa del suolo, il rischio idraulico, la salvaguardia e valorizzazione dell'ambiente, l'individuazione di trend evolutivi dell'uso del suolo e la descrizione dei caratteri geologici e geomorfologici. I soggetti istituzionali e privati coinvolti nel progetto sono la Regione del Veneto (Unità di Progetto per il SIT e la Cartografia, Direzione Geologia e Attività Estrattive, Direzione per la Difesa del Suolo, Genio Civile di Rovigo), la Provincia di Rovigo, Polesine Innovazione di Rovigo, Consorzio di Bonifica Delta Po-Adige, Compagnia Generale Ripresearee di Parma e l'ESA – Ente Spaziale Europeo. (cfr.: *Progetto per la realizzazione di una base conoscitiva del delta del Po, ASITA 2006*).

Materiali e metodi

I movimenti verticali del terreno possono essere determinati attraverso vari metodi, tra cui il metodo geodetico della livellazione eseguita in vari intervalli nel tempo. In questo modo è possibile determinare la subsidenza totale in un determinato periodo, ma difficilmente si otterranno informazioni sulla dinamica dei fenomeni, che invece hanno carattere di discontinuità. Per affrontare questo approccio è quindi necessario confrontare vari prodotti, dislocati lungo un intervallo temporale. I dati a disposizione per lo studio sono pertanto il rilievo LIDAR, eseguito appositamente per il progetto in questione dalla CGR di Parma, il TIN "Digitalia" eseguito dal CNR di Pisa per conto della Regione Veneto e il DTM dell'Istituto Geografico Militare.

IL DTM LASER-SCANNER

La derivazione di DTM con tecniche LIDAR è ampiamente utilizzata da alcuni anni, principalmente per le precisioni richieste nei livelli 4 e 5 delle specifiche tecniche predisposte dal gruppo di lavoro dell'IntesaGIS. Il LIDAR è definito come un sistema laser aviotrasportato, installato a bordo di aerei od elicotteri, utilizzato per acquisire coordinate x, y, z di punti del terreno e di sue caratteristiche, siano esse naturali o artificiali. Dopo la fase di volo per l'acquisizione dei dati avviene una fase di elaborazione dei punti rilevati, con applicazione di filtri e tecniche di classificazione (riduzione dei dati ed eliminazione dei punti rilevati su elementi non appartenenti al terreno, trasformazione delle coordinate nel sistema di riferimento prescelto, interpolazione sulla griglia del DTM). I livelli di qualità stilati dal gruppo di ricerca sui DTM dell'Intesa "Stato-Regioni ed Enti Locali per la realizzazione dei sistemi informativi geografici di interesse generale" richiedono una precisione planimetrica degli elementi pari a 1 m ed una precisione altimetrica su terreno scoperto pari a 0.20 m. La ditta esecutrice ha consegnato i seguenti elaborati:

- Modello Digitale Elevazioni (DEM), ovvero Digital Surface Model (DSM) sia come grigliato regolare con passo di 1 m espresso in quote ortometriche nei sistemi Gauss-Boaga fuso Ovest

- e WGS84-UTM32, sia come grigliato regolare con passo 1 m espresso in quote ellissoidiche nel sistema WGS84-UTM32;
- Modello Digitale del Terreno (DTM), sia come grigliato regolare con passo di 1 m espresso in quote ortometriche nei sistemi Gauss-Boaga fuso Ovest e WGS84-UTM32, sia come grigliato regolare con passo 1 m espresso in quote ellissoidiche nel sistema WGS84-UTM32;
- Copertura aerofotogrammetria dell'area acquisita contestualmente (utile per l'interpretazione del modello stesso).

I grigliati sono divisi in *tiles* (files distinti) per celle di grandezza omogenea di lato 2 Km x 2 Km (2000 punti x 2000 punti).

L'ARCHIVIO "DIGITALIA"

All'interno dell'Azione A2 dell'IntestaGIS "Stato-Regioni ed Enti Locali per la realizzazione dei sistemi informativi geografici di interesse generale" è stato realizzato il DTM a copertura nazionale a maglia triangolare, con il progetto denominato "Digitalia" e sviluppato presso il CNR di Pisa. La Regione del Veneto ha partecipato al progetto fornendo la base informativa della propria CTRN. Il DTM è stato consegnato dal CNR nel 2004, ed è attualmente in uso presso la stazione grafica della Unità di Progetto per il SIT e la Cartografia della Segreteria Regionale all'Ambiente e Territorio. La ricostruzione del TIN è avvenuta processando i dati vettoriali delle cartografie con un opportuno algoritmo (Pareschi et al., 2000a-b; Favalli e Pareschi, 2002), il quale garantisce una ricostruzione ottimale di creste ed impluvi partendo da dati sparsi (punti quotati isolati, curve di livello, break lines, ecc.). Il TIN è stato realizzato nel sistema di riferimento dati UTM-WGS84 ed è stato organizzato in *tiles*, di lato 2,5 x 2,5 Km. Le quote espresse sono riferite al geode e per ogni *tile* sono disponibili le curve di livello, i punti quotati, il TIN (nodi e vertici dei triangoli e relazioni di vicinanza), le break-lines aggiunte e infine una matrice di quote, a passo 10 m., calcolata a partire dal TIN. I valori altimetrici presenti in questo archivio si riferiscono, pertanto, ai livelli informativi della Carta Tecnica Numerica, relativi ai rilievi aerofotogrammetrici del 1983/84 (Figura 2).

IL DTM DELL'I.G.M.

L'I.G.M. ha incaricato nel 1986 una ditta privata di digitalizzare l'orografia della cartografia ufficiale alle scale 1:25000, 1:50.000 ed 1:100.000. Da questi dati numerici l'I.G.M. ha ricavato per interpolazione il DTM. Il prodotto risultante è caratterizzato da precisioni diverse, legate alla scala della carta di origine ed agli standard impiegati all'epoca di redazione: nell'area di studio del delta del Po, gli elementi sono stati derivati dalle tavolette 1:25.000 e la precisione stimata è di $\pm 7-12$ m. Le informazioni altimetriche sono fornite da curve di livello, punti quotati e linee di costa dei laghi principali e dei mari. Il DTM nazionale dell'I.G.M. rappresenta un valido insieme di dati di base, disponibile sull'intero paese. Esso possiede caratteristiche qualitative migliori di altri DTM derivati da satellite e dovrebbe essere considerato come il livello base fra i DTM nazionali. Alla luce delle specifiche tecniche dell'IntesaGIS, il DTM dell'I.G.M. possiede un livello di precisione indicato come "Livello 0". Il modello digitale fornito dall'I.G.M. è espresso in coordinate piane, nel sistema di riferimento geodetico ED50-UTM. Le quote sono espresse in metri e riferite al mareografo di Genova. Il grigliato regolare di quote presenta un passo di 20 metri ed ha grandezza di 500 pixel x 500 pixel, coprendo un'area di 10 Km x 10 Km. L'informazione della quota contenuta nel formato Matrix, è il valore altimetrico medio riscontrato nell'area della cella elementare riferito al baricentro della cella stessa. (Figura 2).



Figura 2 – A sinistra il TIN Digitalia, a destra il grid IGM

METODOLOGIA DI PROCESSAMENTO E CONFRONTO

La tecnica di acquisizione laser-scanner effettua un sostanziale sovracampionamento del terreno, pertanto si deve operare uno sfoltimento dei punti rilevati. Prima di procedere alla realizzazione del TIN, pertanto, si potranno impiegare criteri e metodi per lo smussamento e lo sfoltimento dei *raw-data* con la tecnica del “*data aggregation*”. Si tratta di un processo matematico per ridurre il numero di punti contenuti in un dataset. Esistono a questo scopo differenti metodi per processare il dataset ma, l’obiettivo fondamentale, è quello di raggruppare spazialmente e fondere statisticamente i dati che stanno in un intorno di prossimità di ciascun punto. Per la costruzione del TIN, si adottano tecniche di interpolazione bi-lineare o bi-cubica tra punti adiacenti e si procede all’interpolazione di elementi finiti. La maggior parte dei software impiega i triangoli come elementi finiti, il che presuppone una triangolazione dei dati originari. Viene cioè definito un insieme di triangoli i cui vertici sono i punti misurati. Molto spesso si impiega il metodo di triangolazione di Delaunay in quanto meglio adattabili alle acclività del terreno; in questo caso i triangoli sono definiti in modo che il cerchio circoscritto ad ogni triangolo non contenga altri punti del seminato. I triangoli formati dalla triangolazione non devono attraversare linee caratteristiche o breaklines. Le spezzate che descrivono linee caratteristiche, o breaklines, sono sempre impiegate come lati di triangoli e, i loro vertici, come punti nella generazione del DTM. Quanto esposto sarà applicato alla ricostruzione del *grid* a partire dai dati vettoriali estratti dalla CTR 1:5000. Scopo dell’operazione è quello di verificare la accuratezza del TIN “Digitalia” e alla sua valutazione prima di procedere alla creazione del *grid*. Gli algoritmi utilizzati saranno l’ “*Inverse Distance Weighting*” e il “*Natural Neighbour*”. Nel primo, i punti di origine che si trovano all’interno di un raggio stabilito dal nuovo punto della cella del *grid*, saranno *pesati* secondo la distanza dal nodo stesso. Il valore della cella sarà quindi il risultato di una media pesata di tutti i punti entro il raggio. Il secondo metodo rappresenta, invece, una tecnica di stima geometrica che genera aree in un intorno naturale per ciascun punto. Questa tecnica è particolarmente efficace a seconda che i dati si presentino con una varietà spaziale in forma di cluster oppure con una distribuzione fortemente lineare. Potrà quindi essere applicata direttamente ai *raw-data* dopo una accurata analisi iniziale. La tecnica genera inizialmente un poligono per ogni punto (poligoni di Thiessen) che suddivide lo spazio in maniera continua. Ogni poligono ha la proprietà di contenere tutti i punti dello spazio che sono più vicini al punto osservato interno piuttosto che a tutti gli altri punti osservati (detto anche modello di Voronoi). Successivamente sarà generato un nuovo poligono per ogni nodo del nuovo *grid*. Il valore della cella del nuovo *grid* terrà conto della parte di sovrapposizione dei poligoni circostanti e sarà calcolato come la media dei valori dei punti circostanti proporzionalmente pesati in base alla porzione delle aree adiacenti incluse.

Per quanto riguarda i dati forniti dal rilievo laser-scanner, le elaborazioni saranno effettuate sia sui dati grezzi che sui prodotti finiti DSM/DTM. I primi saranno utilizzati come confronto di dettaglio per punti tra: 1) punti lidar/punti quota da CTRN livello 11 (quote di campagna); 2) punti Lidar/punti di quota nota determinati da livellazione di alta precisione dall’IGM e dalla Regione Veneto; 3) punti Lidar/vertici trigonometrici, determinati con operazioni topografiche o GPS di alta precisione. Successivamente si passerà all’implementazione del TIN e del *grid* a maglie differenti (20 metri da confrontare con il matrix I.G.M.; 10 metri da confrontare con il *grid* ricavato dal TIN Digitalia e 5 metri da confrontare con il *grid* fornito come prodotto finito).

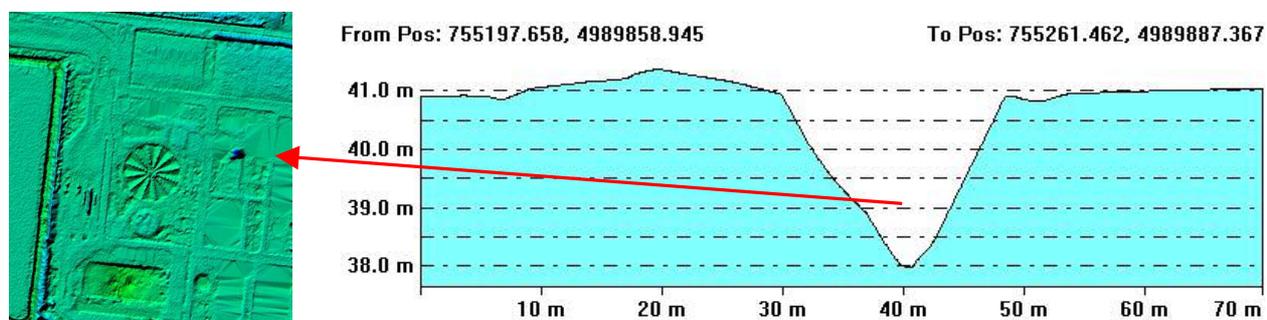


Figura 3 –Una buca sul DTM larga 20 m e profonda 3 m

Risultati

I dati del volo laser-scanner sono stati consegnati all'Università IUAV di Venezia da poco e, in queste prime fasi del lavoro, si è cercato di individuare eventuali errori da verificare con rilievi di campagna ed eventualmente da segnalare alla ditta esecutrice del lavoro (Figura 3).

Sono state effettuate elaborazioni di controllo generico, come la differenza tra due grigliati espressi con quote ellissoidiche e geoidiche, che ha permesso di trovare le ondulazioni del geode sotto l'area di studio (Figura 4), eventualmente da confrontare con i grigliati dell'IGM disponibili all'interno del software VERTO3. Oppure la differenza dei *grids* DSM/DTM che, com'è noto, restituisce una serie di celle (in questo caso di 1 m² ciascuna) con associata la quota relativa al terreno, utile per il calcolo di volumetrie di edifici e per la stima delle altezze delle coperture vegetali (Figura 4). Il controllo delle accuratze planimetriche ed altimetriche dei prodotti da laser-scanner andranno verificate con opportune indagini e rilievi topografici da effettuare.

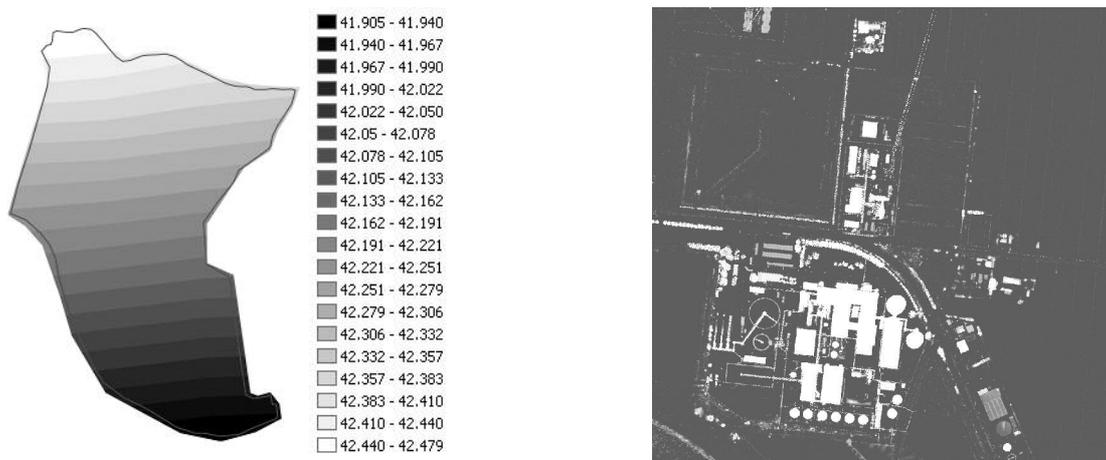


Figura 4 – A sinistra il risultato dell'ondulazione del geode e a destra la differenza DSM/DTM

Il primo confronto tra *grids* è stato effettuato tra un DTM, elaborato con passo 1m x 1m dal TIN "Digitalia" con quote ortometriche, e il DTM da laser-scanner in UTM32-WGS84 sempre quote ortometriche. In realtà il TIN "Digitalia" imporrebbe una griglia ideale con passo 10 m, in quanto le accuratze in quota dei punti quotati ed elementi lineari estratti dalla CTR 1:5000 sono di 1m (cfr: Prescrizioni Tecniche per la produzione di Modelli Digitali del Terreno, WG03 IntesaGIS 2001). I risultati di questo confronto sono mostrati in figura 5).

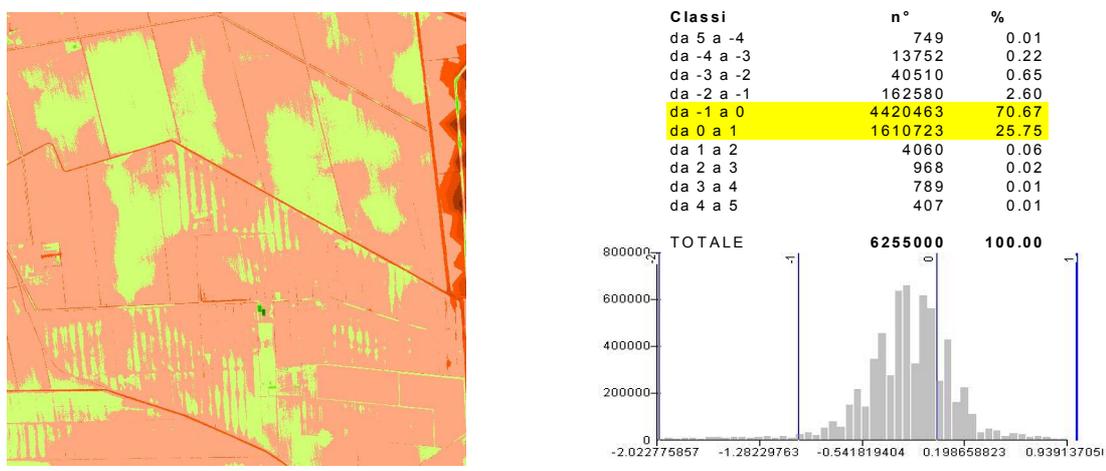


Figura 5 – Il risultato del confronto tra DTM laser scanner e DTM "Digitalia" su un tile di 2,5 x 2,5 Km per un totale di 6.255.000 celle (mq). Le aree in giallo evidenziano modesta variazione altimetrica positiva. Le aree dal rosa al rosso mostrano invece valori di abbassamento del suolo.

I risultati di questa prima analisi mostrano un abbassamento medio dei suoli pari a 0,23 m ed il 96,42 % delle celle prodotte rientra in un range di variazioni altimetriche compreso tra -1 e 1 m. A livello preventivo si può sostenere che i risultati del confronto rientrano entro la soglia d'errore definita dai due prodotti (1,3 m) definita come somma delle accuratèzze in quota. Un'ulteriore analisi approfondita consentirà, comunque di verificare l'attendibilità dei risultati in quanto il *grid* 1x1 estratto dal TIN "Digitalia" è soggetto ad una forte interpolazione dei valori. Si prevedono, pertanto, altre fasi successive del lavoro, che consistono nel ricampionamento dei punti laser-scanner con una maglia meno fitta, ad esempio 5m, e conseguentemente lo passo per il "Digitalia". L'ultima fase prevede il ricampionamento con maglia a 10 m, utile al confronto con i *grids* originali del CNR e il ricampionamento a 20 m, per il confronto con il DTM dell'I.G.M. Quali che siano i risultati delle analisi, si cercherà di trovare una correlazione tra di essi. Come ricordato precedentemente, nonostante il confronto più veritiero è dettato dai caposaldi delle linee di livellazione ad alta precisione, i quali riescono a fornire valori ufficiali delle variazioni altimetriche per alcuni punti campione, i risultati tra i confronti dei grigliati consentiranno di individuare aree o microaree su cui indagare e porre attenzione particolare (come ad esempio all'analisi dei *trends* evolutivi – Figura 6).



Figura 6 – A sinistra l'archivio fotografico del volo GAI 1955 e a destra l'ortofoto 2003

La metodologia mostrata ha permesso di creare una mappatura delle variazioni altimetriche della zona, una parallela valutazione delle caratteristiche dei DTM esaminati, e una valutazione degli errori derivati dai modelli delle basi cartografiche. I risultati di questo lavoro si inseriscono all'interno del progetto per la realizzazione di una base conoscitiva del delta del Po, mostrando quelle aree che necessitano di politiche di difesa e di uso del suolo specifiche, a causa delle particolari condizioni dinamiche altimetriche.

Bibliografia

- Camiciottoli F., Redini M., Surace L., (2005), *Tecnologia laser-scanning e rischio idraulico*. Provincia di Arezzo, Servizio Difesa Suolo, Pacini ed, 2005.
- Carbognin L., Frankenfield Zanin J., Marabini F., (2000), *Po river delta region, Italy. An overview of environmental evolution and land subsidence*. CNR, La Garangola ed, Padova.
- CTC, Intesa Stato Regioni Enti Locali, (2001), *Prescrizioni tecniche per la produzione di Modelli Digitali del Terreno*, IntesaGIS, Gruppo di Lavoro, 2001.