

# STRATEGIE DI ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI FINALIZZATE ALLO STUDIO DELLE AREE COLPITE DALLO TSUNAMI DEL 2004

Michela VELLICO (\*), Paolo STERZAI (\*), Franco COREN (\*), Alessandro PAVAN (\*),  
Paolo PAGANINI (\*), Marina POROPAT (\*), Roberto BOLIS (\*), Carla DE CILLIA (\*), Mauro  
GERGIC (\*), Valerio DEREANI (\*\*)

(\*) Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS), Borgo Grotta Gigante 42/c, 34010 Sgonico (TS), tel: 040.21401, fax: 040.327307, mail: [mvellico@ogs.trieste.it](mailto:mvellico@ogs.trieste.it)

(\*\*) Helica srl, via F.lli Solari 10, 33020 Amaro (UD), tel: 0433.94286, fax: 0433.469348

## Riassunto

Nel febbraio 2006 un team composto da ricercatori, tecnologi e tecnici dell'OGS (Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale) e di tecnici di *Helica* srl si è recato nello Sri Lanka allo scopo di monitorare le coste del Paese colpite dal terribile maremoto del 26 dicembre 2004. Sono stati condotti dei rilievi mediante l'utilizzo di apparecchiature *lidar*, iperspettrali e camera digitale e con l'ausilio della tecnologia *GPS*; è stato possibile acquisire una superficie di circa 2200  $km^2$  e valutare l'impatto avuto dallo *tsunami* sulla morfologia del terreno. Analisi dettagliate sono state condotte in prossimità di alcuni siti segnalati da fonti ufficiali come maggiormente colpiti.

## Abstract

*In February 2006, a team of researchers, technologists and technicians of OGS (National Institute of Oceanography and Applied Geophysics) and technicians of Helica srl has gone to Sri Lanka to monitor the shores affected by tsunami on 26<sup>th</sup> December 2004. Some surveys have been done, using lidar and hyperspectral instruments, a digital camera and GPS technology. It has been possible to investigate an area of about 2200 km and to value the impact of tsunami on the terrain morphology. A detailed analysis of some sites, described as very damaged by official founts, has been done.*

## Strumentazione

I rilievi sono stati condotti mediante metodologia *lidar* e iperspettrale; un set di ortofoto è stato inoltre acquisito a supporto dell'interpretazione dati. Tutti i sensori sono stati montati a bordo di un aeromobile, con il quale si è sorvolato il Paese.

Il *lidar* utilizzato è un *Optech ALTM 3033*, costituito da un laser operante nell'infrarosso vicino ( $\lambda=1064\text{ nm}$ ), che invia impulsi elettromagnetici ad una frequenza di 33 *kHz* ed è in grado di registrare il primo e l'ultimo eco di risposta. Gli impulsi *laser* vengono diretti verso uno specchio oscillante che riflette gli stessi in senso ortogonale alla direzione di avanzamento dell'aeromobile, dove l'intero sistema è alloggiato. La scansione del terreno deriva dalla combinazione del movimento di oscillazione dello specchio e quello di avanzamento dell'aeromobile. Il raggio *laser*,

una volta colpito il suolo, viene riflesso e parte dell'energia incidente sul terreno ritorna verso lo specchio; questo convoglia il segnale luminoso ad un sistema di rilevamento che determina il tempo di ritorno dell'impulso. Dal tempo impiegato dalla luce a percorrere il tragitto relativo al punto di emissione – riflessione – ricezione si determina la distanza fra lo specchio ed punto di riflessione al suolo, (*Ackermann F., 1999*), (*Baltsavias E.P., 1999*).

L'intero sistema viene montato rigidamente su di un aeromobile e la sua posizione (vettore di stato) viene determinata mediante soluzione *GPS* (*Global Position System*). Il calcolo della traiettoria avviene mediante misure *GPS* differenziali cinematiche utilizzando almeno una stazione fissa posizionata su di un punto noto entro 25 km dall'area del rilievo (*Mostafa et al., 2001*).

Il sensore iperspettrale di proprietà di OGS è un *AISA Eagle 1K* della *Specim*, che lavora nel campo del *VNIR* (*Visibile Near Infra Red* – da 400 a 970 nm), in grado di acquisire qualsiasi combinazione di banda, da poche bande multispettrali all'intero *data-set* iperspettrale. Si tratta di un sistema a scansione *pushbroom*, costituito da un sensore iperspettrale, interfacciato con un sensore *GPS/INS Applanix* e un'unità di acquisizione dati implementata in un pc. L'*AISA Eagle* effettua una scansione di tipo *pushbroom*, detta anche *a barretta di rivelatori*, trasversalmente alla direzione del moto della piattaforma; ognuna delle linee di scansione corrisponde ad una sottile striscia di territorio, ad ognuno dei rivelatori della barretta corrisponde un *pixel* della striscia a terra.

La camera digitale *Rollei 6008 db45* con dorso digitale *PhaseOne H20* ha una spaziatura di *pixel* di 9 micrometri ed è composta da 4080 x 4076 *pixel*. La camera è stata montata solidale ad una piattaforma inerziale che dispone di compensazione per le variazioni di assetto dell'aeromobile in rollio e beccheggio.

Il posizionamento dei sistemi avviene mediante misura *GPS* cinematica. La soluzione del vettore di stato viene effettuato con una frequenza di 1 Hz, con uno o più ricevitori *GPS* geodetici collocati a terra. La necessità di avere dei precisi riferimenti geodetici ha portato alla creazione di una propria rete di capisaldi, realizzata a partire da un punto della cui monografia si disponeva (aeroporto di *Katunayake*); i ricevitori *GPS* utilizzati sono stati degli *Ashtech Z-Extreme*, funzionanti in *L1* e *L2*.

## Metodologia

Si sono effettuati diversi voli lungo le coste situate a Ovest e a Sud del Paese, spingendosi per un tratto fino a Sud-Est; la superficie coperta raggiunge i 2200 km<sup>2</sup> e si estende dall'abitato di Panama, sulla costa orientale, fino a Tarwila, sulla costa nord occidentale (v. *Fig. 1*). Non è stato possibile sorvolare e quindi acquisire la capitale, Colombo, per motivi di sicurezza.



Figura 1 - Estensione del rilievo laser e principali zone studiate

Durante i voli sono stati acquisiti contemporaneamente dati *lidar*, dati iperspettrali e ortofoto. L'elaborazione è stata svolta in loco, per valutare la riuscita di ciascun rilievo e verificarne la copertura, che è stata poi affinata e completata in sede.

Una rete *GPS* è stata realizzata a partire da un caposaldo di coordinate note, situato nei pressi dell'aeroporto di *Katunayake* vicino a Colombo; gli operatori hanno lavorato acquisendo sempre contemporaneamente con due stazioni *GPS* fisse a terra, creando una maglia che coprisse l'area da rilevare. I capisaldi non sono distanti più di *50 km* tra loro.

## Risultati

L'analisi del dato si è concentrata soprattutto in quei centri abitati che hanno riportato, secondo fonti ufficiali, danni più ingenti a causa dello tsunami.

L'esempio più significativo sulla costa Ovest è rappresentato dalla città di *Galle*; costituita da un'insenatura in cui è presente il porto e da una penisola dominata da una fortezza, la città di per sé ha contato più di *2000* vittime. L'onda, alta all'incirca *4* metri, ha completamente sommerso la città, distruggendo molte abitazioni e lo stadio di cricket. Segni di questo evento, ma anche di una prima fase di ricostruzione, emergono dall'osservazione delle ortofoto e dei dati laser; la fortezza sembra aver in parte protetto gli edifici presenti all'interno, che si differenziano molto da quelli presenti nella baia per stato di conservazione. La città di *Kalutara*, sempre ad Ovest, è protetta dal mare grazie ad una laguna e alla spiaggia: un'attenta osservazione dei dati lidar, comparati con la linea di costa preesistente (fornitaci dallo *Sri Lankan Survey Department*), evidenzia la variazione della morfologia costiera causata dal maremoto. Il fronte d'onda ha avuto un impatto più violento nella parte orientale dell'isola, raggiungendo, in alcune zone addirittura i *10 m* e causando all'incirca *4500* morti nel distretto di *Hambantota* e *10500* in quello di *Ampara*; devastanti gli effetti, oggi ancora parzialmente visibili nel divario vegetazionale che identifica il limite raggiunto dall'onda, dalla penuria di infrastrutture e la presenza massiccia di villaggi ricostruiti dalla Cooperazione Internazionale (v. *Figura 5*).



*Figura 2 – Simulazione di innalzamento della marea nel porto della città di Galle (sud-ovest dell'isola) da 0,0 a 4,0 m*

Dallo studio effettuato è stato possibile mappare in maniera estensiva le aree che possono venire allagate da un fenomeno di innalzamento del livello marino valutato. Il modello è stato basato unicamente sulla relazione geometrica fra la quota del terreno ed il livello marino (inteso come

superficie equipotenziale) raggiunto in occasione di un evento straordinario. La condizione sufficiente considerata è unicamente quella che un dato punto si trovi al di sotto della superficie equipotenziale presa in esame. Per correggere la nuvola di punti lidar ad una superficie equipotenziale si è tenuto conto del modello geoidico globale EGM96, (F.G. Le moine et al., 1998). Inoltre, sempre al fine di mantenere il modello conservativo, nella mappatura dell'ingressione non è stato tenuto conto dell'esistenza o meno di una connessione fisica fra le differenti aree allagabili.

Le immagini precedenti (Figura 2) sono state realizzate sovrapponendo alle ortofoto i dati relativi all'innalzamento della marea. Per il calcolo di questi ultimi, sono stati grigliati i dati *laser* su una maglia  $1 \times 1$  m, mediante interpolazione lineare, utilizzando il software *Surfer 8*. Successivamente, sono stati messi in evidenza, colorandoli in blu, i punti della superficie che si trovano rispettivamente a +2 e +4 metri sopra il livello del mare.

La Figura 3, invece, mostra gli effetti dell'innalzamento di 3 metri della superficie marina, nei pressi del forte della città di Galle. La superficie visualizzata è stata anche in questo caso ottenuta mediante interpolazione dei punti laser, su una griglia di  $1 \times 1$  m.

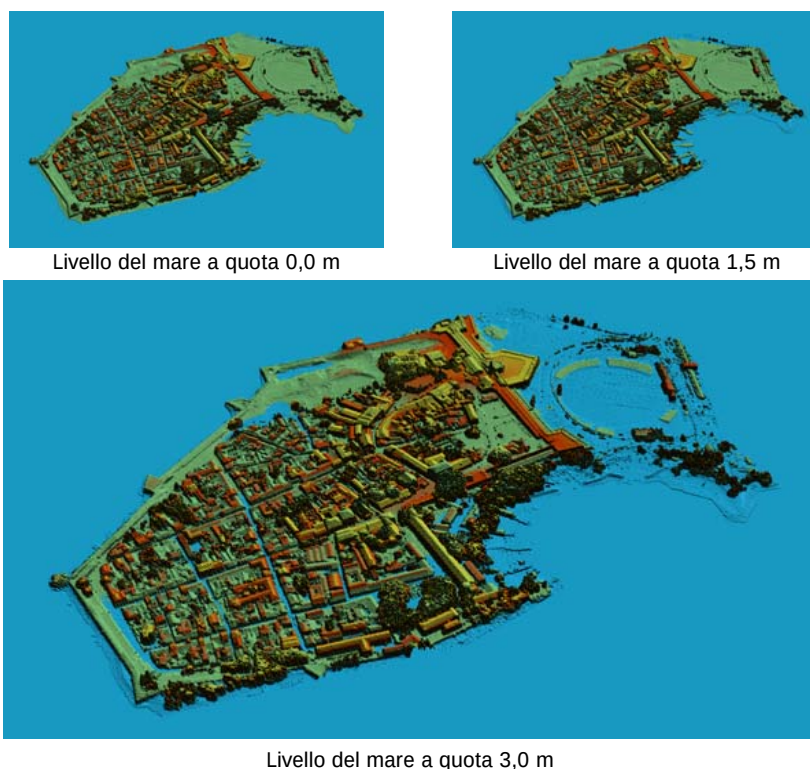
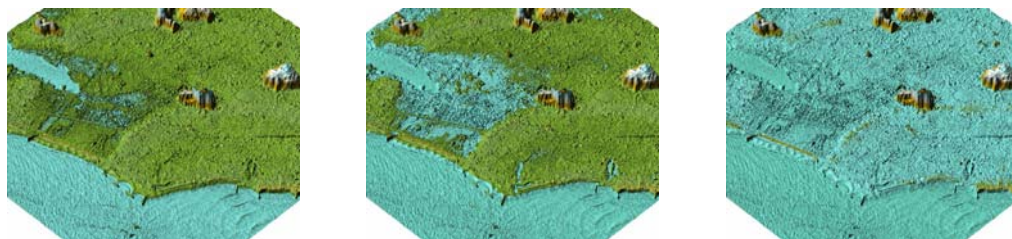


Figura 3 – Simulazione di innalzamento della marea nella città di Galle (sud-ovest dell'isola) da 0,0 a 3,0 m

Le immagini seguenti (Figura 4) riguardano la città di *Hikkaduwa*, a sud-ovest dell'isola, in cui il fronte d'onda ha raggiunto altezze di circa 4 m. Le immagini sono state ottenute dalla stessa nuvola di punti *laser*, ma, mentre nella prima serie sono stati utilizzati tutti i punti, nella seconda i soli punti *ground*, ovvero quelli epurati dai punti ricadenti sulle superfici elevate, mediante algoritmi consolidati di classificazione, (Axelsson P., 2000). Quest'ultima risulta particolarmente interessante, in quanto mette maggiormente in evidenza l'ingressione marina, dovuta al fronte d'onda.



Simulazione dell'innalzamento della superficie marina di 2 e 4 m. Immagini elaborate sul modello di superficie



Immagini elaborate sul modello del terreno, cioè epurato dai punti ricadenti su superfici elevate

*Figura 4 – Località nei pressi di Hikkaduwa (sud-ovest dell'isola)*



*Figura 5 – Ortofoto della laguna di Panama; si identificano chiaramente i danni causati dal fronte d'onda e l'opera di costruzione di un villaggio da parte dell'organo di Cooperazione e Sviluppo*

## Conclusioni

Il motivo per cui si è scelto di utilizzare le metodologie lidar e iperspettrale per questo studio è l'estrema loro attinenza con gli obiettivi del progetto. La possibilità di acquisire e gestire agevolmente grosse quantità di dati facilita l'analisi territoriale e rende possibile la stima dei danni subiti. L'interpretazione simultanea dei risultati ottenuti dalle diverse metodologie utilizzate si rivela utile nell'analisi condotta per scopi ambientali, riuscendo ad integrare informazioni topografiche con altri tipi di dato.

A partire dai dati *lidar*, che possono venir impiegati per una futura ridefinizione della linea di costa, si sono realizzati dei modelli tridimensionali, utilizzati in alcune simulazioni di ingressione marina, allo scopo di potenziare le difese da eventuali calamità. Questi risultati sono di carattere preliminare, in quanto basati su una simulazione statica dell'innalzamento del livello marino. Un successivo sviluppo di tale lavoro è identificabile nell'impiego di modelli tridimensionali che tengano conto anche della dinamica delle acque, nella fase di ingressione marina.

Le ortofoto possiedono un notevole impatto visivo; costituiscono una valida base per individuare gli interventi di ricostruzione avviati e localizzare i punti in cui programmarne dei nuovi.

La rete geodetica realizzata rappresenta, infine, una valida base da cui partire per una sua successiva estensione del rilievo.

## Bibliografia

*Ackermann F., 1999. Airborne laser scanning present status and future expectations. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 54(2-3), pp. 64-67.*

*Axelsson P. (2000), Dem generation from laser scanner data using adaptive TIN models. IAPRS, Vol. 33, Part 2.*

*Baltsavias E.P., 1999. Airborne laser scanning: basic relations and formulas. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 54 , 1999, pp. 199-214.*

*Centre for National Operations (CNO), Sri Lanka, "Sri Lanka Tsunami Disaster", thematic maps*

*Lemoine F.G., Kenyon S.C., Factor J.K., Trimmer R.G., Pavlis N.K., Chinn D.S., Cox C.M., Klosko S.M., Luthcke S.B., Torrence M.H., Wang Y.M., Williamson R.G., Rapp R.H., Olson T.R. (1998), The development of the joint NASA/GSFC and the National Imagery and Mapping Agency (NIMA) geopotential models, EGM96, NASA, TP-1998-206861, 575 pp, July 1998*

*Mostafa M.M.R., Hutton J., Lithopoulos E. (2001), Direct Georeferencing of Frame Imagery - An Error Budget. Proceedings, The Third International Mobile Mapping Symposium, Cairo, Egypt, January 3-5.*