

Integrazione di dati multisorgente in un GIS per interventi di post-emergenza : il caso dello Tsunami del 26.12.2004.

Luca Martino (*), Emanuele Loret (**), Munzer Jahjah (***)

(*) Università di Roma “La Sapienza” – Ingegneria - p.Villa Carpegna,42 00165 Roma tel. 06 6624309 e-mail: lucamartino76@hotmail.com

(**) ESA-ESRIN Frascati – via Vecchia di Velletri, 8 00046 Grottaferrata (Rm) tel. 06 94180298 e-mail :emanueleloret@yahoo.it

(***) C.R.P.S.M. - Via Salaria, 851 - 00138 Roma tel+390688346447 e-mail: munzer@psm.uniroma1.it

Riassunto

La metodologia GIS si presta ottimamente per il monitoraggio di eventi calamitosi e per la programmazione di piani di intervento post-evento.

Abstract

The GIS methodology is suitable for the monitoring of hazardous events and for the preparation of the post-events emergency plans.

Keywords: REMOTE SENSING, GIS, PLANNING, INSAR, SATELLITE, TSUNAMI

Introduzione

L'impatto antropico modifica continuamente i processi naturali ora aumentandone la potenza ora rompendone gli equilibri secolari. La posizione di centri abitati e di attività economiche rispetto alla dinamica di una catastrofe, come è stato nel caso di onde di maremoto, risulta fondamentale nella prevenzione dell'evento e nella pianificazione del post-emergenza. Infatti individuare e localizzare cartograficamente il tipo e l'estensione del danno è la condizione necessaria per fare fronte agli interventi umanitari successivi ad un disastro. Utilizzare quindi un G.I.S. a base satellitare è, a nostro giudizio, il metodo migliore per individuare e valutare i problemi e programmare azioni di soccorso rapide ed efficaci.

Area di studio

La grande isola di Sumatra si estende da circa 5,5 lat. N, 95 long E a 8 lat.S, 108 long E, a cavallo dell'equatore. Il 26/12/2004 alle ore 07,58 (ora locale) una forte scossa di terremoto (magnitudo 9.3 gradi Richter), con epicentro 3,307 N 95,947E, dislocò una gigantesca faglia sommersa nella parte NO di Sumatra. L'onda di maremoto prodotta, in poche ore, colpì le coste di numerosi paesi dell'Oceano Indiano. Si calcola che

circa 300.000 persone morirono in quel disastro. La città di Banda Aceh a nord di Sumatra fu la più devastata.

Materiali e metodi

Il nostro lavoro, svolto nell'ambito di una collaborazione con il *CRPSM* dell'Università di Roma "La Sapienza", ha utilizzato le risorse messe a disposizione dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA) nella sede dell'ESRIN (Frascati), presso lo *Earth Observation Science and Applications Department*. Immagini satellitari nel visibile e nelle microonde oltre a cartografie e mappe sono state la base informativa dei layers del G.I.S. .

Osservazioni ed analisi dei risultati

La realizzazione del G.I.S. ha relazionato strati informativi di diversa natura, permettendo una stima del valore del territorio tramite funzioni statistiche, fornendo alla fine delle risposte aggiornate e dettagliate della situazione pre-post Tsunami della zona di Banda Aceh. Le informazioni ricavate interrogando il database sono state utilizzate come input per costruire modelli di valutazione del rischio. L'elaborazione di immagini satellitari ha poi fornito il valore aggiunto al Sistema Informativo. Le tecniche di "Change Detection" hanno utilizzato sia immagini radar dei satelliti ERS2 ed ENVISAT (ESA), sia immagini ottiche SPOT5.

Le varie tappe del lavoro possono essere così riassunte: 1) Elaborazione e change detection delle immagini ottiche e radar; 2) Integrazione con dati cartografici e vettoriali; 3) Analisi statistica del danno e generazione di mappe aggiornate.

Integrazione dati nel G.I.S ed analisi statistica del danno

Dalle immagini SAR processate coregistrate e georiferite, sono stati estratti i valori del coefficiente σ^0 . Lungo la linea di costa si registra una perdita di backscatter ($-1.30dB$) ad indicare la totale devastazione della stessa, mentre per quanto riguarda le zone ricche di colture nei pressi del canale a SUD di Aceh, non si misurano considerevoli variazioni dei valori del coefficiente σ^0 ($+0.6dB$). Pertanto in questo caso i cambiamenti non risultano imputabili all'onda di maremoto bensì ai cicli vegetativi. Sono stati poi analizzate due zone campione di aree urbane pesantemente danneggiate: una immediatamente a ridosso della costa, dove si è osservata una notevole perdita del coefficiente ($-3dB$) ad indicare totale distruzione ed un'altra nell'immediato entroterra, che risulta aver mantenuto tra il prima e il dopo uno scattering quasi inalterato ($-0.5dB$). In realtà, quest'ultima porzione di territorio comprendente gran parte della città, è stata raggiunta dall'onda la cui potenza però è risultata attenuata dell' "effetto cuscinetto" dei primi 2-3km di terra. Gli edifici sono stati infatti danneggiati nei piani bassi mantenendo inalterate le coperture dei tetti e dunque le loro qualità di scatteratori. In seguito le immagini sono state visualizzate nel sistema RGB (Rosso: pre-evento ; Blu, Verde: post-evento) . In questo modo l'immagine risultante presenta variazioni di colore che confermano la stima

qualitativa del tipo di cambiamento intercorso. Il rosso acceso indica totale devastazione ed è determinato da una predominanza del coefficiente σ° dell'immagine pre-evento (ovvero diminuzione). Osserviamo che la zona in rosso si concentra prevalentemente in prossimità della costa ma anche nell'area urbana e lungo gli argini dei fiumi ripercorsi a ritroso dall'onda di tsunami. Le aree urbane più interne (6-7km dalla costa), sebbene anch'esse abbiano subito danni ingenti, appaiono bianche con punti di rosso e ciano. Il ciano indica un cambiamento corrispondente ad un aumento di σ° ma non necessariamente legato alla devastazione apportata dall'onda di tsunami. Il ciano presente vicino alla costa potrebbe però anche indicare zone rimaste allagate nei giorni immediatamente seguenti la catastrofe.

La change detection operata nell'ottico può essere suddivisa in due fasi:

1) Calcolo dell'indice NDVI con definizione di mappe di differenza; 2) Classificazione. Le immagini SPOT5 con differenti valori di NDVI sono state elaborate al fine di enfatizzarne le variazioni di riflettanza, calcolandone poi la *differenza* ovvero sottraendo all'immagine post evento quella pre-evento. Nelle zone con $NDVI > 0$ osserviamo una prevalenza dei valori di riflettanza dell'immagine post rispetto a quella pre-evento ad indicare un cambiamento nella zona vegetata. Per evidenziare i diversi valori dell'indice si è creata una *Look up Table* dove il giallo ($NDVI \approx 0,19 \sim 0,15$) indica grandi cambiamenti che si concentrano prevalentemente lungo la linea di costa (totale distruzione), le zone limitrofe e le zone di esondazione fluviale nell'entroterra. Con il rosso ($NDVI \approx 0,10 \sim 0,04$) si stimano cambiamenti medi con probabili devastazione delle aree rurali nelle vicinanze della costa. Il verde ($NDVI \approx 0,02 \sim -0,002$) mostra parziali differenze nelle zone colpite e presenza d'acqua mentre in ultimo con il blu ($NDVI \approx -0,1 \sim -0,23$) si ha la quasi totale assenza di cambiamento delle zone investite. Tuttavia l'area che si estendeva dalla costa fino all'immediato entroterra e visualizzata in rosso nelle immagini SAR, non sembrava essere confrontabile con le elaborazioni effettuate nell'ottico. A tal proposito le immagini SPOT5 nel vicino infrarosso sono state anche esse visualizzate in RGB assegnando rispettivamente il rosso all'immagine pre-evento, il verde e il blu all'immagine post-evento. E' stata così operata un'accentuazione dell'immagine al fine di migliorarne la percezione e l'individuazione dell'area di danno. I risultati sono migliorati tanto che l'area inondata, visualizzata in rosso (in questo caso domina la riflettanza del pre-evento rispetto al post ad indicare grande cambiamento) sembra coincidere, con quella delle immagini SAR. La classificazione delle immagini è stata infine condotta utilizzando l'algoritmo della massima verosimiglianza a partire dai dati delle "Aree di Interesse" (AOI). La firma spettrale di ciascuna classe è stata determinata attraverso le informazioni delle mappe elaborate da RESPOND .

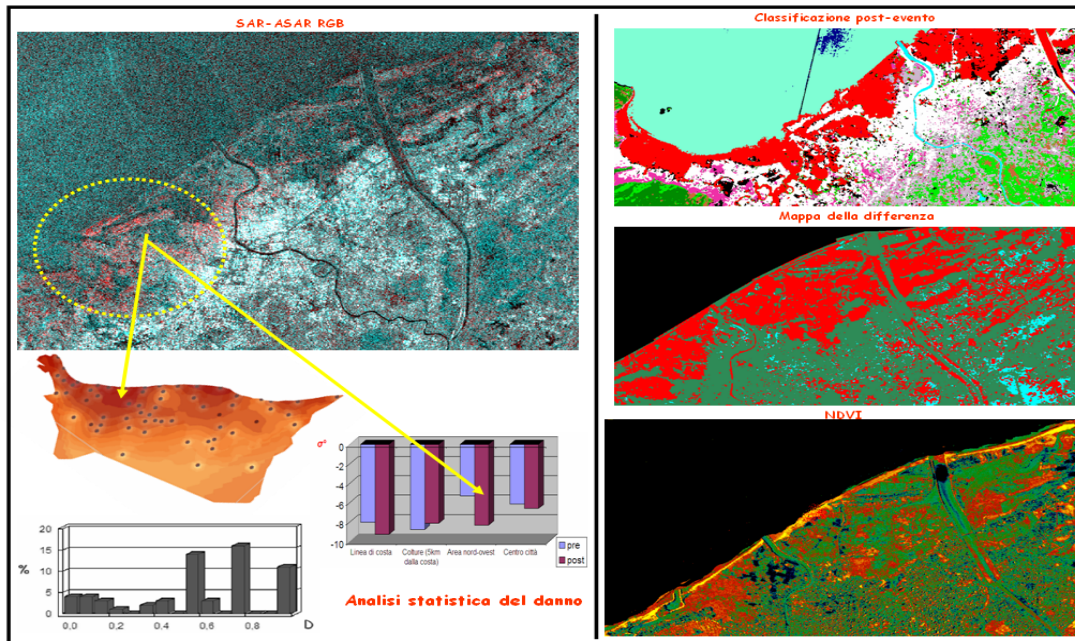


Figura 1. Definizione delle aree di danno

Dai risultati tabulati e resi graficamente si osserva che circa 20km^2 di centro abitato viene discriminato dall'analisi di change detection come zona soggetta a forte concentrazione d'acqua PT (ricca di fango e detriti trasportati dall'onda), mentre altri $2,8\text{km}^2$ appaiono sommersi e classificati come mare vicino alla costa. Inoltre sempre della zona urbanizzata (abitati densi) di Banda Aceh, si evidenzia che ben 12km^2 sono stati spazzati dall'onda, trasformati in suolo nudo e quindi discriminati come area aperta, mentre una superficie di 37km^2 si è trasformata in abitati sparsi. Osserviamo inoltre che più di 8km^2 di terreno umido, con il quale si sono indicate tutte quelle risaie a ridosso della costa e circa $1,5\text{km}^2$ di foresta di mangrovie sono diventate zone a forte concentrazione d'acqua. Per le altre classi utilizzate (coltivazioni, vegetato vario etc.), seppur colpite, risulta più difficile il raffronto, proprio perché maggiormente soggette a tutti quei cambiamenti dovuti all'antropizzazione o ai cicli delle colture durante l'intervallo temporale di un anno. Con la mappa delle differenze infine sono state visualizzate le zone di cambiamento. Sono state introdotte n classi ($n=11$), ciascuna caratterizzata da un differente valore di soglia, oscillante da -1 a $+1$. Nel caso in esame per valori di soglia >0.8 visualizzati in rosso si ha grande cambiamento e questo corrisponde alla zona della costa e dell'immediato entroterra. I valori negativi indicano un cambiamento minore. Sulle singole acquisizioni SAR/ottico processate, coregistrate, e georeferite sono stati

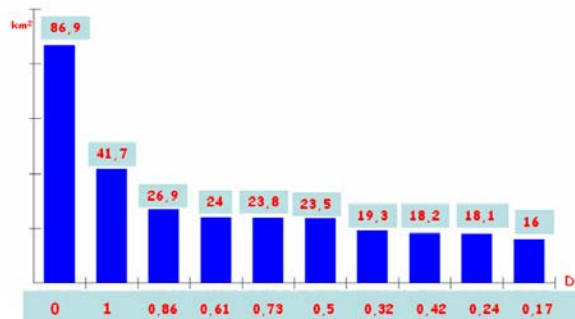


Figura 2 Valori riscontrati del danno e superfici corrispondenti.

proiettati i layers vettoriali delle aree di interesse delineando le variazioni di superficie tramite i valori del coefficiente di backscatter. L'integrazione dei dati satellitari nel G.I.S. è stata eseguita tramite la elaborazione di due workspace. Il primo è stato realizzato mediante la digitalizzazione di una carta corografica della zona di Sumatra, georeferenziando l'immagine raster ottenuta ed infine vettorializzando la

stessa. Su tale layer sono state definite sia mappe di pericolosità del rischio (geosismico, idromorfologico) sia mappe contenenti isoipse, batimetriche, e isoorarie per la propagazione delle onde di maremoto. Con il secondo workspace si è proceduto con l'analisi statistica del danno calcolata sulla base della classificazione delle immagini Spot5 e dei dati estratti dalle mappe GMES-RESPOND. In tale layer si mettono in evidenza i numerosi villaggi inondati nonché le infrastrutture pesantemente danneggiate dalla potenza delle onde di maremoto quali porti, ponti (di legno e di acciaio) aeroporti, allevamenti ittici e complessi industriali. Sono state inoltre vettorializzate le zone dove l'onda di maremoto è penetrata permettendo così di visualizzare le zone con danno massimo e nullo. In particolare sono state calcolate due aree di studio: una rossa, corrispondente all'area di danno che si estende per 115 Km² tra la costa e gli edifici della città ed una gialla, danno minimo, che si spinge nell'entroterra e comprendente le zone raggiunte complessivamente dall'esonazione. Per la città di Aceh quindi, dopo aver creato una maschera comprendente l'area totale stimata di penetrazione dell'onda, sono state definite più specificatamente, a partire dai punti siti sulla costa, 5 fasce di danno equidistanti 1.5Km. Scelti poi 61 punti sparsi uniformemente tra il territorio costiero, quello urbanizzato ed il vegetato, è stato assegnato ad ognuno di essi un valore in virgola mobile tanto per la vulnerabilità, quanto per l'esposizione. Infine è stato calcolato il danno, indicato nella colonna degli attributi dello shpfile "analisi del danno" con valori compresi tra 0 e 1. L'analisi geostatistica e la definizione di mappe del danno e di predizione dell'errore standard, e' stata impostata utilizzando il metodo ordinario di *Kriging* (circolare). Il calcolo del valore puntuale incognito del danno e' stato poi eseguito attraverso procedura automatica consistente nella media pesata dei valori noti. Per calcolare i pesi si è ricorsi al semivariogramma mettendo in relazione la distanza tra due punti e il relativo valore di semivarianza tra le misure effettuate per gli stessi.

Il passaggio successivo è rappresentato dalla cross-validazione dei valori puntuali e dal successivo tracciamento dello scatter-plot. Stima della bontà del processo è infatti il $RMSS \approx 0,98$ dovendo essere per definizione pari a uno. La mappa di predizione visualizzata, utilizzando la classificazione dei dati tramite i 'piccoli quantili', presenta dieci fasce di danno il cui range di errore standard varia tra il 15 ed il 24%. L'area di danno massimo (0,86-1) è stimabile intorno ai 41km^2 mentre le altre zone pesantemente danneggiate, immediatamente a ridosso della prima fascia hanno rispettivamente superfici di 27km^2 (0,73- 0,86) e 24km^2 (0,6-0,73). Dai risultati si evidenzia che quasi tutta la zona costiera ha subito totale devastazione e che la parte di città con danno massimo è quella a NO (Uleele). Questo sembra trovare riscontro con i dati estratti dalle immagini satellitari ed in particolar modo con lo studio eseguito sul campo dagli ingegneri della EERI. Si evince infatti che : lo tsunami ha raggiunto un *runup* di 12m sulla costa nord ovest ed uno di 6m su quella nord est; l'altezza dell'acqua penetrata all'interno ha raggiunto i 9m nella zona a nord ovest mentre oscillava tra i 7 e i 5m nel centro città (Moschea) non superando il secondo piano degli edifici; la linea di inondazione è stimabile intorno ai 4km di distanza dalla costa.

Bibliografia

Dudley-Lee (2005), "Tsunami: storia e causa delle onde anomale", *Piemme*
Mofjeld, Titov, Gonzalez, Newman (2004), "Analytic theory of Tsunami scattering in the open ocean with application to the north pacific".
"EnviSat- Asar product -Handbook ERDAS Field Guide"
"December 26, 2004 Indian Ocean Tsunami Field Survey (JAN. 21-31, 2005) at North of Sumatra Island" Ahmet C. Yalciner , Dogan Perincek, Sukru Ersoy, Gegar S. Presateya, Rahman Hidayat, Brian McAdoo March 08, 2005 .
J.Munzer (2002), "Trattamento delle immagini per l'analisi di change detection" - *Univ La Sapienza, Scuola di Aerospaziale*.
www.respond-int.org

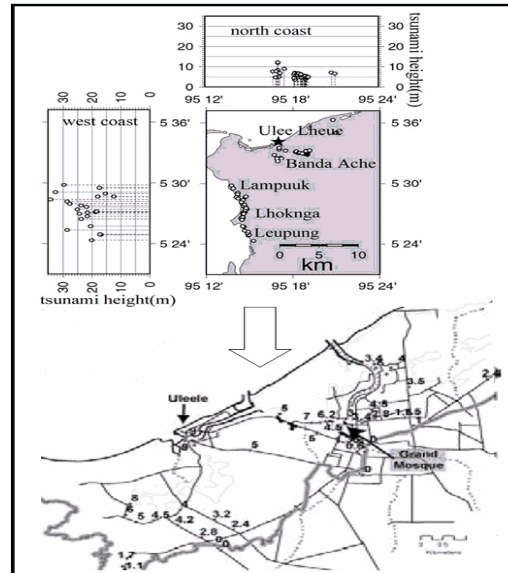


Figura 3 Runup e mappa dell'altezza del flusso dell' onda misurato sul campo.