

Sviluppo di un sistema di monitoraggio delle aree alluvionate a scala continentale

Andrea Ajmar (*), Franca Disabato (**), Fabio Giulio Tonolo (*)

(*) ITHACA – Via P.C. Boggio 61, 10139 Torino, andrea.ajmar@ithaca.polito.it, fabio.giuliotonolo@ithaca.polito.it
(**) DITAG - Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10135 Torino, franca.disabato@polito.it

Riassunto

La ricerca oggetto del presente contributo è finalizzata alla definizione di un'applicazione, basata su dati satellitari, per l'identificazione dei corpi idrici presenti sul territorio, con lo scopo di individuare e monitorare a piccole scale cartografiche eventi alluvionali. La metodologia proposta è basata sull'estrazione automatica di tematismi relativi all'estensione delle aree ricoperte da acqua, con aggiornamento in tempo quasi-reale e generazione di sintesi multi-temporali. Tale ricerca, con una connotazione fortemente applicativa, si inserisce nell'ambito delle attività svolte da ITHACA a supporto del World Food Programme (WFP), la maggiore Agenzia operativa delle Nazioni Unite, nell'ambito della gestione di emergenze ambientali. Rispetto a precedenti sperimentazioni finalizzate all'analisi di singoli eventi alluvionali, sono stati considerati prioritari i seguenti requisiti: analisi a scala continentale, monitoraggio continuo ed aggiornamento in tempo quasi reale. La continuità temporale ed il numero di scene necessarie a coprire vaste aree rendono cruciale l'automazione dell'intera procedura: ciò ha reso necessario l'implementazione di apposite routine implementate dal gruppo di ricerca. Particolare attenzione è stata posta nell'identificazione della metodologia ottimale per l'estrazione dei corpi idrici da immagini acquisite con sensori ottici, affrontando in particolare i problemi derivati dalla presenza di copertura nuvolosa. Verranno illustrati i risultati ottenuti, su alcuni test site significativi, mediante un approccio multi-temporale, adottato sia per ridurre statisticamente l'estensione delle aree non analizzabili a causa della copertura nuvolosa, sia per minimizzare la presenza di errori di commissione ed omissione nella classificazione.

Abstract

The research activity described in this contribution is focused on defining algorithms and develop an application for the identification of water bodies from satellite images, with the aim of monitoring flood events at a national scale. The proposed methodology is based on the automatic extraction of areas covered by water, with almost-real-time updating and generation of multi-temporal synthesis. This research, with a strong applicative connotation, is part of the activities carried out by ITHACA in support of the World Food Program (WFP), the largest operational agency of the United Nations in the field of emergency management. Compared to most of the experimentation available in literature, aimed to the identification and analysis of individual floods, current activity has different requirements, such as analysis at a regional scale, continuous monitoring and near real-time update. Temporal continuity and the number of scenes needed to cover large areas are critical factors for a complete automation of the entire procedure. Particular attention was paid to identify the optimum methodology for the extraction of water bodies from images acquired by optical sensors, addressing in particular the problems related with the presence of cloud cover. This article describes the results obtained on some significant test sites, using a multi-temporal approach to statistically reduce the extent of areas with no information due to cloud cover and to minimize errors of commission and omission in classification.

Introduzione

Nel corso degli ultimi due anni ITHACA ha sviluppato ed implementato un sistema globale di pre-allerta per eventi alluvionali basato sul processamento in tempo quasi-reale di dati satellitari di precipitazione. L'obiettivo principale è consentire agli utenti un monitoraggio delle aree interessate da eventi di pioggia estremi indicando, sulla base di archivi storici di immagini satellitari, le possibili aree soggette ad allagamento (Albanese et al., 2008).

Il sistema di allerta è attualmente operativo e fruibile dagli utenti attraverso un'applicazione web, mentre l'analisi delle aree storicamente soggette ad esondazione viene eseguita solo per specifici eventi per i quali viene richiesto ad ITHACA un supporto diretto da parte del World Food Programme delle Nazioni Unite (UN WFP). A tal fine da un anno è attiva una linea di ricerca finalizzata all'estrazione automatica delle aree alluvionate da immagini satellitari che consentano l'automazione della metodologia individuata (Disabato, 2008), che attualmente richiede la supervisione di un operatore per il raggiungimento di risultati ottimali. Il coinvolgimento di ITHACA in alcuni recenti progetti di ricerca ha richiesto l'aggiornamento dei requisiti di tale procedura, evidenziando la necessità di un aggiornamento in tempo quasi-reale (rendendo quindi insufficiente l'utilizzo del solo archivio storico) e di una copertura a scala nazionale o continentale. Le modifiche alla procedura precedentemente sviluppata verranno illustrati dettagliatamente nei paragrafi seguenti, con particolare riferimento alle modalità di estrazione delle aree alluvionate.

Metodologia

La metodologia sviluppata e consolidata in una prima fase era finalizzata alla generazione di un archivio di aree storicamente alluvionate con estensione globale. In particolare, era stato cautelativamente deciso di individuare l'involuppo delle aree allagate in conseguenza di eventi alluvionali passati, fornendo quindi come dato finale l'estensione areale maggiore relativa ad un singolo evento storico.

La nuova procedura, basata sul processamento di dati satellitari MODIS è sviluppata in ambiente IDL (Interactive Data Language), è illustrata schematicamente nel diagramma di flusso di Figura 1. Nella parte destra dello stesso diagramma sono state inserite le principali modifiche apportate alla versione precedente, in funzione dei nuovi requisiti funzionali introdotti, ovvero:

- aggiornamento in tempo quasi-reale: tale vincolo ha reso necessario cambiare la tipologia di dato primario utilizzato, mantenendo invariato il sensore (MODIS) ma orientandosi sull'unico prodotto disponibile in real-time (MODIS Real Time Subsets);
- automazione totale della procedura: a tal fine è stato modificato l'approccio scelto per la classificazione dei corpi idrici, la cui implementazione e validazione verrà descritta nel seguito.

E' invece rimasto invariato l'approccio multi temporale utilizzato per minimizzare i problemi dovuti alla presenza di copertura nuvolosa, che non solo rende impossibile l'analisi nelle parti di immagine mascherate, ma induce indirettamente errori nella classificazione dei corpi idrici a causa dell'alterazione della risposta spettrale dei pixel dovuta alle relative ombre.

Dati utilizzati

Essendo uno dei requisiti della ricerca la possibilità di monitorare aree molto estese (a livello di nazione o continente), si è scelto di utilizzare come dato di base un prodotto derivato dal sensore MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), con caratteristiche di risoluzione geometrica e dimensioni della scena acquisita compatibili con analisi a piccole scale. In particolare sono stati elaborati i prodotti forniti nell'ambito del MODIS Rapid Response System, servizio Internet che rende disponibile agli utenti i dati MODIS in tempo quasi reale, specificatamente finalizzato alla gestione di emergenze quali incendi ed alluvioni. I MODIS Rapid Subsets garantiscono la disponibilità giornaliera di una coppia di immagini, acquisite dalle piattaforme Terra ed Aqua, geometricamente corrette (risoluzione geometrica fino a 250 m) e georeferenziate in un sistema di coordinate geografiche riferito al Datum WGS84, diminuendo drasticamente i tempi di pre-elaborazione geometrica e ricampionamento.

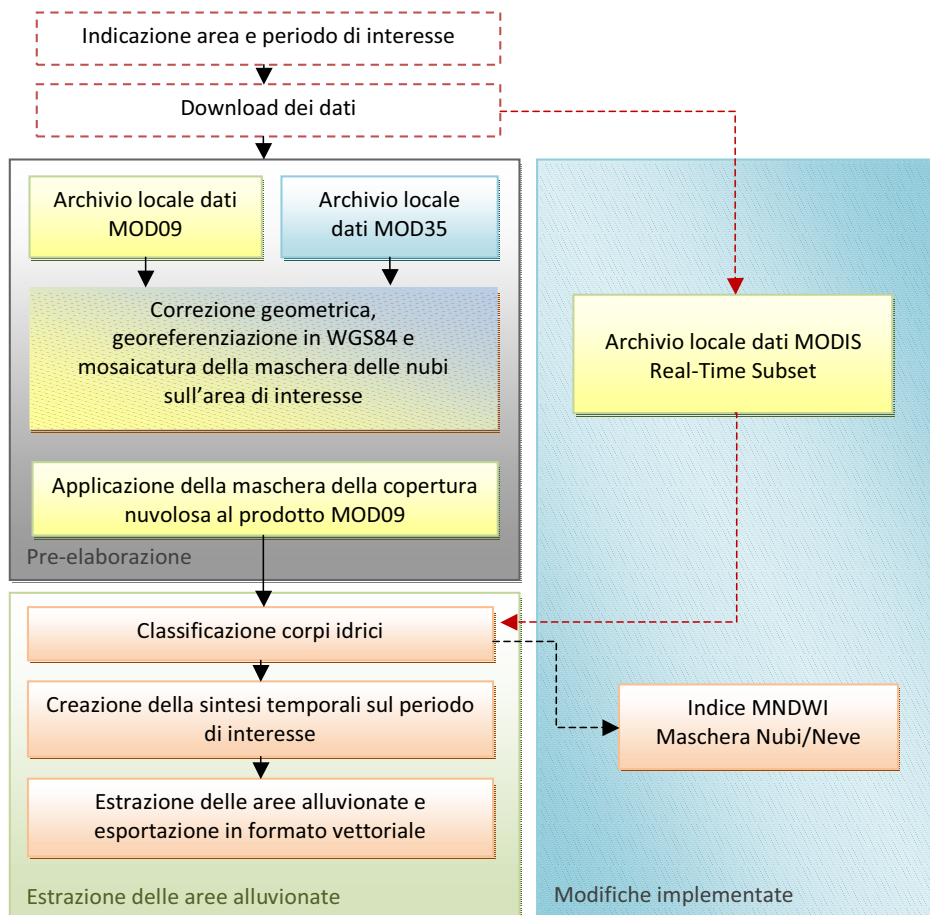


Figura 1 - Schema della metodologia e principali modifiche apportate

Tali dati sono distribuiti sotto forma di immagini raster compresse, caratteristica che influisce negativamente sul processo di classificazione ma che garantisce una disponibilità in tempo quasi-reale, fondamentale per un'operatività nel campo della gestione delle emergenze.

Dal punto di vista spettrale, sono disponibili le seguenti sintesi additive, che risultano idonee all'estrazione delle maschere delle nubi e neve ed alla classificazione dei corpi idrici:

- a colori reali, bande MODIS 1, 4, 3 (670 nm: 565 nm: 479 nm);
 - in falsi colori, bande MODIS 7, 2, 1 (2,155 nm: 876 nm: 670 nm);
- Per alcuni subset è disponibile anche la seguente sintesi:
- in falsi colori, bande MODIS 3, 6, 7 (479 nm: 1,652 nm: 2,155 nm).

Determinazione delle aree alluvionate

Al fine di identificare correttamente e attraverso procedure automatizzate i corpi idrici si è deciso di modificare la metodologia utilizzata nella versione precedente dell'applicazione, basata su una semplice, seppur efficace, sogliatura dell'istogramma della banda nell'infrarosso vicino. Sfruttando infatti le caratteristiche di assorbimento dell'acqua nelle bande dell'infrarosso vicino, è possibile identificare le aree umide o ricoperte da acqua classificando tutte le celle dell'immagine con valori inferiori ad una soglia definita dall'utente. Come evidenziato in precedenti lavori a fronte della

semplicità di tale approccio risultano evidenti alcuni svantaggi. Le ombre presenti sulla scena (dovute sia all'orografia del territorio sia alla copertura nuvolosa) vengono classificate come acqua; inoltre il valore di soglia non risulta univoco al variare delle condizioni di acquisizione.

Si è quindi preferito ricorrere all'utilizzo di indici basati su rapporti differenziali tra bande, che rendessero i valori di soglia indipendenti dall'immagine elaborata e che minimizzassero l'influenza delle ombre. L'analisi bibliografica ha evidenziato un diffuso utilizzo dell'indice differenziale normalizzato di umidità (NDWI, Normalised Differential Water Index) nell'ambito della classificazione delle aree alluvionate. Purtroppo si è constatato come in letteratura non esista una definizione univoca di questo indice, probabilmente anche a causa delle diverse caratteristiche spettrali dei sensori satellitari tipicamente utilizzati in tali ambiti. Le relazioni descritte, sebbene sostanzialmente basate su rapporti differenziali della riflettività nella bande del visibile e dell'infrarosso, in alcuni casi utilizzano la banda del verde e dell'infrarosso medio ed in altri del rosso e dell'infrarosso vicino.

Dopo aver effettuato diverse verifiche sperimentali, si è deciso di utilizzare l'indice MNDWI (Modified NDWI, Zhuowei et al, 2007 e Fengming et al, 2008), che ha dimostrato maggiori capacità di rimozione dell'effetto delle ombre:

$$MNDWI = \frac{(\rho_{GREEN} - \rho_{SWIR})}{(\rho_{GREEN} + \rho_{SWIR})}$$

Una sogliatura su valori positivi di MNDWI consente di individuare le aree dell'immagine corrispondenti alla classe Acqua, ma è necessario mascherare tali aree rimuovendo le celle corrispondenti alle classi Nubi e Neve (ottenute mediante una sogliatura delle bande nel visibile).

In figura 2 viene riportato un confronto tra i risultati ottenuti utilizzando la sola sogliatura della banda dell'infrarosso (Figura 2,b) e quella basata sull'indice MNDWI (Figura 2,c) di una scena MODIS sul Pakistan (Figura 2,a).

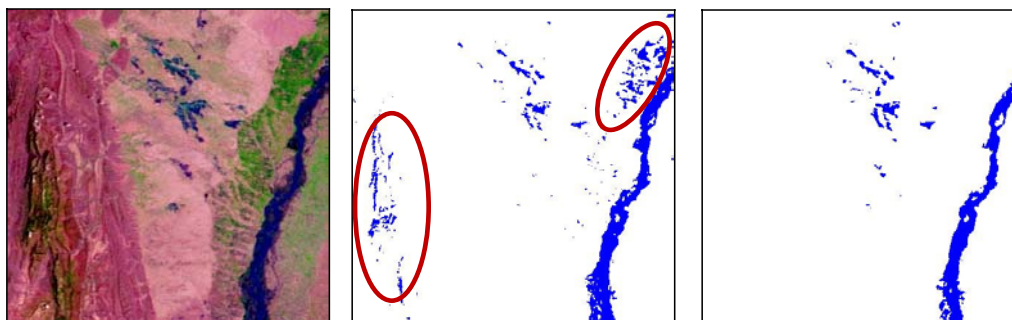


Figura 2 – (a) Sintesi in falsi colori MODIS (7-2-1), Classificazione dei corpi idrici basata su (b) sogliatura NIR (c) sogliatura MNDWI. Le ellissi rosse evidenziano aree erroneamente attribuite alla classe acqua

Al fine di incrementare statisticamente l'estensione delle aree analizzabili e di minimizzare la presenza di errori di commissione ed omissione nella classificazione (entrambi imputabili alla copertura nuvolosa), viene utilizzato un approccio multitemporale. I risultati della classificazione dei corpi idrici applicata alle immagini acquisite in un arco temporale predefinito, sono aggregati in modo da fornire una sintesi giornaliera riferita agli n giorni precedenti. In particolare la singola cella viene considerata ricoperta da acqua solo se è stata classificata come tale per un numero di giorni superiori ad una soglia, pesando maggiormente l'ultimo dato disponibile (Figura 3).

L'arco temporale considerato viene definito preventivamente dall'operatore in funzione di macro aree geografiche, in modo da assicurare un ragionevole numero di giorni per i quali ogni cella risulti priva di copertura nuvolosa. Le aree alluvionate così individuate sono esportate in formato vettoriale tramite un'apposita routine per la successiva disseminazione agli utenti: in particolare è prevista l'implementazione di un'apposita interfaccia web per la consultazione in tempo reale delle analisi effettuate.

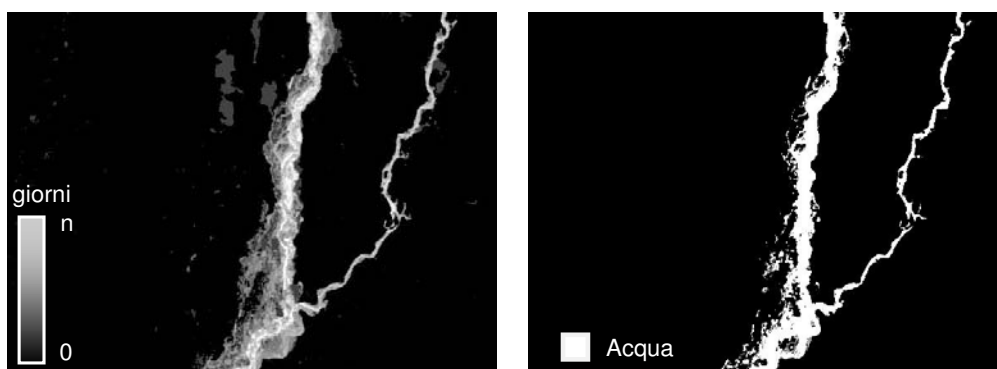


Figura 3 (a) Numero di giorni per cui ogni cella è stata classificata come "Acqua" negli n giorni precedenti l'ultimo dato disponibile e (b) classificazione finale dei corpi idrici

La procedura è stata testata su dataset relativi all'Africa sud-orientale ed al Pakistan, aree che per la loro conformazione orografica consentono di verificare non solo il corretto funzionamento della metodologia ma anche l'applicabilità a diverse realtà geografiche. L'arco temporale considerato è di 73 scene per l'Africa (dal 1 gennaio 2007 al 16 marzo 2007) e 92 scene per il Pakistan (dal 1 giugno 2005 al 9 settembre 2005).

Sono state testate diverse combinazioni delle bande MODIS per il calcolo dell'indice NDWI, nello specifico le coppie 1-7 (Red-NIR), 2-7 (NIR-SWIR₂), 4-6 (Green, SWIR₁) e 3-6 (Blue-SWIR₁). Le prime due combinazioni utilizzate (testate in quanto permettevano il download della sola sintesi additiva 7-2-1) richiedevano l'integrazione con l'indice NDVI per il mascheramento delle aree vegetate. La combinazione 4-6 ha invece fornito i migliori risultati rispetto alla 3-6, consentendo una migliore discriminazione delle aree in ombra. La presenza di forti discontinuità altimetriche e di una costante copertura nevosa in Pakistan hanno reso necessario modificare i parametri relativi all'arco temporale ed alla soglia per ottenere risultati soddisfacenti.

Al fine di valutare i tempi approssimativi necessari all'elaborazione di ampi dataset, sono stati valutati i tempi di processamento di un'area geografica costituita da 4 scene (occupazione di memoria fisica pari a 67 MB per ogni scena) per un periodo di 108 giorni, valutando anche i tempi di una eventuale fase di correzione geometrica (qualora l'area di interesse non fosse presente nei Real Time Subsets già processati). I risultati hanno evidenziato come le fasi di scaricamento (5 ore) e georeferenziazione (4 ore) costituiscano l'elemento critico, essendo i tempi richiesti dalle fasi di classificazione (1,5 ore) e composizione temporale (0,5 ore) decisamente inferiori.

Conclusioni e sviluppi futuri

Il lavoro di ricerca oggetto del presente contributo si basa sulla precedente implementazione, da parte del gruppo di ricerca, di una procedura finalizzata all'individuazione della massima estensione delle aree alluvionate durante eventi storici. Le modifiche apportate hanno consentito di ottenere un'applicazione potenzialmente idonea ad un utilizzo operativo nell'ambito delle emergenze, per il monitoraggio in tempo reale dell'estensione dei corpi idrici su ampie aree geografiche.

Lo strumento non è ancora operativo in quanto le verifiche effettuate hanno evidenziato come:

- ! i MODIS Rapid Subsets non sempre consentano di avere una copertura geografica sufficiente a coprire interi continenti. Questo rende necessario l'utilizzo dei dati Real-Time che richiedono però una preventiva correzione geometrica, incrementando i tempi di elaborazione richiesti;
- ! è necessario verificare quantitativamente l'influenza della compressione dei dati del MODIS Rapid Response System sull'accuratezza dei risultati;
- ! il numero di scene necessarie per analisi a scala continentale ed i relativi tempi di elaborazione impongono la progettazione di un adeguato sistema di Grid Computing per l'esecuzione delle diverse fasi della procedura in tempi congrui per un sistema di monitoraggio in real-time;
- ! i test eseguiti sul Pakistan hanno evidenziato come le ombre presenti sulle immagini dovute alle discontinuità altimetriche debbano essere opportunamente modellizzate per eliminarne la scorretta attribuzione alla classe Acqua.

È prevista l'implementazione di un'applicazione Web-Gis dedicata alla consultazione in tempo reale delle informazioni estratte per consentire un monitoraggio continuo in caso di eventi alluvionali.

Bibliografia

- Ackerman S., Strabala K., P. Menzel P., Frey R., C.Moeller C., Gumley L., B. Baum B., Wetzel Seemann S., H. Zhang H.*, Discriminating clear-sky from cloud with modis algorithm theoretical basis document (MOD35), Versione 5.0. Ottobre 2006
- Disabato F.*, "Classificazione automatica di aree alluvionate", XII Conferenza Nazionale ASITA. L'Aquila. 2008
- Easton Z. M., Dahlke H. E., Philpot W. D., Steenhuis T. S., DeAlwis D. A.*, "Unsupervised classification of saturated areas using a time series of remotely sensed images", Hydrology and Earth System Sciences, Volume 11, Issue 5, 2007, pp.1609-1620
- Islam A.S., Bala S.K., Haque A.*, "Flood Inundation map of Bangladesh using MODIS surface reflectance data", Proceedings of the 2nd International Conference on Water and Flood Management (ICWFM-2009), 15-17 Marzo, 2009, vol-2 (ISBN: 984-300-000303-6).
- Zhuwei HU, GONG H., ZHU L.*, "Fast flooding information extraction in emergency response of flood disaster", ISPRS Workshop on Updating Geo-spatial Databases with Imagery & The 5th ISPRS Workshop on DMGISs, 2007
- Chowdary V.M., Chandran R. Vinu , Neeti N., Bothale R.V., Srivastava Y.K., Ingle P., Ramakrishnan D., Dutta D., Jeyaram A., Sharma J.R., Singh R.*, "Assessment of surface and sub-surface waterlogged areas in irrigation command areas of Bihar state using remote sensing and GIS", Agricultural Water Management, Elsevier, vol. 95(7), pagine 754-766, Luglio 2008.
- Fengming Hui, Bing Xu, Huabing Huang, Qian Yu, Peng Gong*, "Modelling spatial-temporal change of Poyang Lake using multitemporal Landsat imagery", International Journal of Remote Sensing, Volume 29, Issue 20, pagine 5767 – 5784, Ottobre 2008
- Fadhil A.M.*, "Environmental Change Monitoring by Geoinformation Technology for Baghdad and its Neighboring Areas", Map Asia 2006.
- Huggel C., Kääb A., Haeblerli W., Teyssie P., Paul F.*, "Remote sensing based assessment of hazards from glacier lake outbursts: A case study in the Swiss Alps." Canadian Geotechnical Journal 39:316–330, 2002
- Sakamoto T., Nguyen N. V., Kotera A., Ohno H., Ishitsuka N., Yokozawa M.*, "Detecting temporal changes in the extent of annual flooding within the Cambodia and the Vietnamese Mekong Delta from MODIS time-series imagery. Remote Sensing of Environment", 109(3), 295-313, 2007.
- Thenkabail, P. S., Schull, M., and Tural, H.*, "Ganges and Indus river basin land use/land cover (LULC) and irrigated area mapping using continuous streams of MODIS data". Remote Sensing of Environment, 95, 317-341, 2005
- Gao B.C.*, "NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote Sensing of Environment", Vol. 58: 257-266, 2006