

Identificazione di aree inondate da immagini SAR a media ed alta risoluzione.

Valentina Bellifemine (**), Fabio Bovenga (*), Laura Candela(**), Raffaele Nutricato(***),
Guido Pasquariello(*), Alberto Refice(*)

(*) ISSIA - CNR, Via Amendola 122/D-O, Bari, Italy, Tel. +390805929434, fax +390805929460

E-mail: {bovenga, pasquariello, refice}@ba.issia.cnr.it

(**) ASI-Agenzia Spaziale Italiana, Centro di Geodesia Spaziale Loc. Terlecchia, 75100 Matera, Italy

Tel. +3908353751, fax +390835375422, E-mail: {bellifemine,candela}@asi.it

(***) GAP srl, Via Amendola 173, Bari, Italy, Tel +390805442396, fax +390805443224

E-mail: raffaele.nutricato@gapsrl.eu

Riassunto

Obiettivo del lavoro è stato l'assessment di tecniche automatiche per l'estrazione di aree inondate da immagini SAR. Al fine di raggiungere tale obiettivo sono stati considerati i dati in banda X ad alta risoluzione spaziale (da 1 a 4 m) della costellazione italiana COSMO-SkyMed. I casi di studio considerati sono stati: l'inondazione del Dicembre 2009 del Lago di Massaciuccoli, in Toscana e gli eventi di piena relativi al Fiume Tanaro in Piemonte avvenuti negli ultimi giorni dell'Aprile 2009. L'approccio di change detection adottato si basa su una tecnica per la ricerca automatica della soglia sulle immagini delle intensità. Inoltre, lì dove erano disponibili coppie interferometriche con sufficiente correlazione, è stato verificato un approccio basato sulla segmentazione dell'immagine della coerenza interferometrica. Nel lavoro sono presentati i risultati e la valutazione sull'uso in situazioni di emergenza dove viene richiesta l'identificazione più precisa delle aree colpite per la valutazione dei danni e per programmare azioni di pronto intervento.

Abstract

The objective of this study has been the assessment of automatic techniques for the generation of flooded areas maps from SAR images. To achieve this goal, we considered high spatial resolution (1 to 4 meters) X-band SAR data acquired by the Italian COSMO-SkyMed constellation. The case studies are the Massaciuccoli Lake (Tuscany) flood in December 2009, and the Tanaro River flood event occurred in the last days of April 2009. The change detection approach adopted is based on a technique for the automatic thresholding of the image intensity. Moreover, for the Tanaro test-site, where interferometric pairs with sufficient correlation were available, it has been verified an approach based on the segmentation of the interferometric coherence image. Experimental results confirm the effectiveness of using high resolution SAR data in the context of emergency situations where it is required the precise identification of afflicted areas for damage assessment and emergency action plan.

Introduzione

Le alluvioni provocano ogni anno danni rilevanti a città, vie di comunicazione e insediamenti produttivi e in casi particolarmente gravi, causano anche ingenti perdite in termini di vite umane. Il nostro Paese è interessato in modo particolare dai fenomeni connessi al rischio idrogeologico, che spesso si verificano anche a seguito di precipitazioni non eccezionali. In caso di alluvione, una delle prime necessità che si riscontra è quella di individuare tutte le zone coinvolte dall'evento, assicurando un monitoraggio globale del fenomeno affinché le operazioni di soccorso possano essere programmate efficacemente; in un secondo momento, quando l'acqua si è ritirata e l'emergenza è rien-

trata, è richiesta l'identificazione più precisa dell'area colpita, per valutare l'entità degli oneri assicurativi e degli interventi finanziari, per il risarcimento dei danni provocati. Infine, mappe post-evento ancora più accurate sono richieste per la creazione di modelli idrogeologici, fondamentali per definire i piani di ricostruzione e per prevenire le alluvioni future.

Attualmente nessun metodo tradizionale consente di tracciare in maniera rapida ed efficace una mappa delle aree inondate durante un evento alluvionale: i voli di ricognizione aerea sono limitati dalle cattive condizioni meteorologiche che seguono di solito eventi di questa natura, mentre controlli accurati a terra sono spesso impraticabili a causa dell'inaccessibilità delle regioni colpite. Di conseguenza, risulta spesso impossibile o molto dispendioso ottenere una mappa alluvionale accurata in un tempo sufficientemente breve. L'osservazione dallo spazio mediante satelliti per il telerilevamento della regione colpita rende possibile una visione sinottica dell'evento alluvionale e permette di identificare in modo puntuale le strutture e le vie di comunicazione più gravemente danneggiate. Il SAR, in particolare, con la sua capacità di osservare la superficie terrestre ad alta risoluzione, di notte e di giorno e con qualsiasi condizione meteorologica, rappresenta la tecnologia che meglio d'ogni altra può contribuire alla *flood mapping*. In questo lavoro, finalizzato allo sviluppo di tecniche automatiche di identificazione di aree inondate da immagini SAR, si sono esaminati due casi di studio relativi a gravi eventi alluvionali verificatisi in Italia nell'anno 2009: l'esondazione del fiume Tanaro, in Piemonte, e la piena del lago Massaciuccoli in Toscana. Nei paragrafi successivi vengono illustrate le caratteristiche del data set utilizzato e delle tecniche impiegate; la discussione dei risultati è svolta alla luce dell'impiego di tali dati in contesti operativi.



Figura 1 – Immagine Spotlight COSMO-SkyMed del 28 Dicembre 2009 relativa al test site del Lago Massaciuccoli. L'immagine, geocodificata e ricampionata ad 1 m di risoluzione, è stata elaborata nell'ambito del progetto OPERA dell'ASI.

Data set

I dati analizzati sono immagini della costellazione COSMO-SkyMed acquisite da ASI (Agenzia Spaziale Italiana) per conto della Protezione Civile ed elaborate all'interno del progetto OPERA dell'ASI (Opera, 2009).

Per il primo test-site è stato considerato il caso del lago di Massaciuccoli, esondato il 25 dicembre 2009 a causa di forti precipitazioni e per il contestuale innalzamento dello zero termico, che ha provocato la parziale fusione delle neve presente nel bacino idrico del fiume Serchio. Per tale test-site si è analizzata l'immagine *Spotlight* del satellite COSMO-Sat2 (secondo satellite dei tre attualmente

in orbita) della costellazione COSMO-SkyMed, acquisita il 28 dicembre 2009, tre giorni dopo l'evento alluvionale, in modalità *right ascending* (cioè durante la fase dell'orbita "ascendente", in cui la piattaforma si muove approssimativamente da sud verso nord, con il sensore rivolto sul lato destro rispetto alla direzione di moto del satellite), con *beam ID* 27, che corrisponde ad un angolo di incidenza di circa 53 gradi, e polarizzazione HH. L'immagine utilizzata per le elaborazioni è mostrata in figura 1: si tratta di un'immagine geocodificata e ricampionata su griglia regolare a terra, con risoluzione di 1 m.

Il secondo test-site riguarda il fiume Tanaro, che nei giorni 27 e 28 aprile 2009 ha registrato un'ondata di piena straordinaria. Il livello del fiume ha raggiunto i 5,39 m sopra lo zero idrometrico ad Asti, superando la soglia di pericolo alla stazione idrometrica di Montecastello, dove è stato registrato un livello massimo di 7,24 m, con una portata al colmo di circa 3200 m³/s. Il fiume è esondato per vasti tratti tra Solero e Casalbagliano, coinvolgendo rovinosamente insediamenti abitativi e industriali. Ulteriori esondazioni si sono verificate in provincia di Alessandria e nel comune di Asti. Relativamente a questo test-site, l'ASI ha reso disponibile una raccolta di 3 immagini Stripmap acquisite dai satelliti della costellazione COSMO-SkyMed nei giorni 30 aprile, 1 e 16 maggio, aventi una *baseline* perpendicolare di 233 m per la coppia interferometrica 30/04–01/05 e di 314 m per la coppia 30/04–16/05. In figura 2 è riportata l'immagine relativa all'acquisizione del 30 aprile.

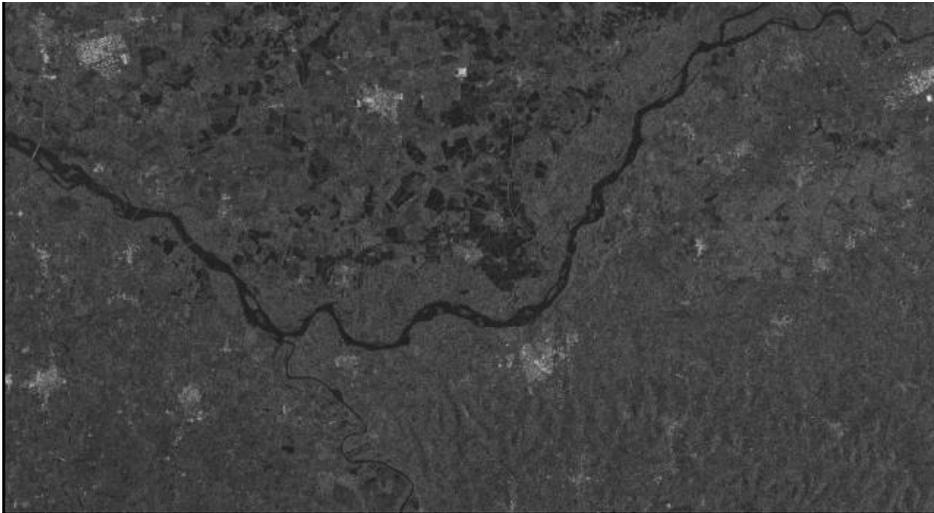


Figura 2 – Immagine Stripmap COSMO-SkyMed relativa al test site del Tanaro. Immagine acquisita il 30 Aprile 2009, elaborata nell'ambito del progetto OPERA dell'ASI.

Per l'ottenimento dell'immagine della coerenza interferometrica $|\gamma|$, definita come modulo della cross-correlazione normalizzata tra le immagini *master* e *slave* di una coppia interferometrica:

$$\gamma = \frac{\sum z_1 z_2^*}{\sqrt{\sum |z_1|^2 \sum |z_2|^2}},$$

è stata utilizzata la catena di processing interferometrico SPINUA (Bovenga et al., 2004). In figura 3 è riportata l'immagine della coerenza relativa alla coppia di immagini acquisite con una *baseline* temporale di 1 giorno (coppia 30 aprile–1 maggio): da notare come in questa immagine venga enfatizzata la differenza fra zone inondate e zone non inondate, corrispondenti rispettivamente a zone a bassa ed alta coerenza.

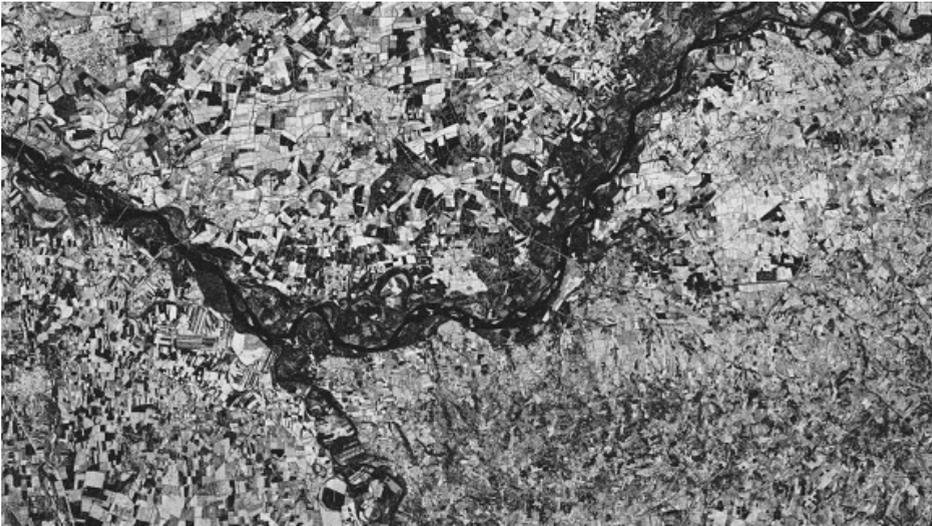


Figura 3 – Immagine del modulo della coerenza interferometrica relativa alla coppia di immagini COSMO-SkyMed del 30 aprile / 1 Maggio 2009. Nell'immagine le zone a bassa coerenza in prossimità del fiume Tanaro corrispondono ad aree soggette ad esondazione. Le immagini di partenza sono state elaborate nell'ambito del progetto OPERA dell'ASI; per il processing interferometrico è stata utilizzata la catena di processing SPINUA.

Metodologie applicate

Le prove sperimentali hanno comportato l'applicazione di tre metodologie:

- 1) *amplitude thresholding*;
- 2) *amplitude change detection*;
- 3) *coherence map thresholding*.

Nel primo caso è stato usato un approccio *Split-Based* (Bovolo & Bruzzone, 2006) (Martinis et al., 2009) sulla singola immagine post-evento dell'ampiezza, al fine di verificare l'estensione complessiva delle aree allagate. Il diagramma a blocchi è riportato in figura 4.

Lo *split-based approach* si articola in cinque fasi:

1. suddivisione dell'intera immagine (di dimensione $N \times M$) in sottoscene S_i di dimensione $n \times m$;
2. selezione di un sottoinsieme delle sottoscene S_i candidate a contenere le due classi "flood" / "non flood": test sulla standard deviation associata;
3. per ciascuna delle sottoimmagini selezionate al passo 2, fit dell'istogramma relativo come sovrapposizione di due gaussiane: $p(x) = \sum_{i=1}^2 p(x | \omega_i) P(\omega_i)$, ove $p(x | \omega_i)$ è la funzione di densità di probabilità per il valore di intensità x condizionata dalla classe ω_i , e $P(\omega_i)$ è la probabilità *a priori* per classe ω_i ; individuazione della soglia T \exists $p(\omega_1 | T) = p(\omega_2 | T)$, ove $p(\omega_i | \cdot)$ è la probabilità *a posteriori* per la classe ω_i ;
4. media delle soglie locali individuate al passo 3 per la determinazione della soglia globale;
5. applicazione della soglia globale all'immagine.

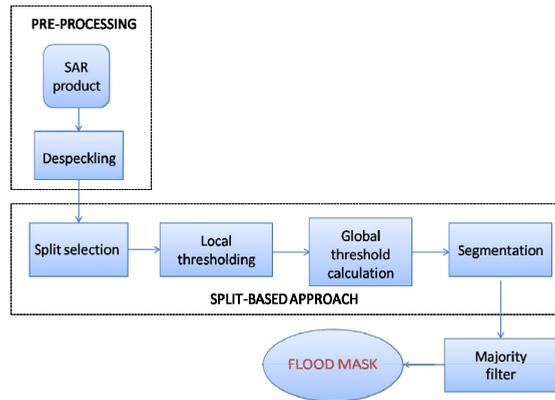


Figura 4 – Diagramma funzionale dell’approccio amplitude thresholding.

Nell’approccio 2) la soglia è applicata alla differenza fra due immagini sulla stessa scena, riprese prima e dopo l’alluvione: tale metodologia è stata applicata al caso del fiume Tanaro. L’approccio 3) è basato sull’applicazione di tecniche di *thresholding* all’immagine della coerenza (Nico et al., 2000), ottenuta analizzando coppie di immagini SAR interferometriche pre- e post-evento ed è stato applicato al solo sito del fiume Tanaro, per il quale erano disponibili tre acquisizioni COSMO-SkyMed con piccole *baseline* spaziali e temporali.

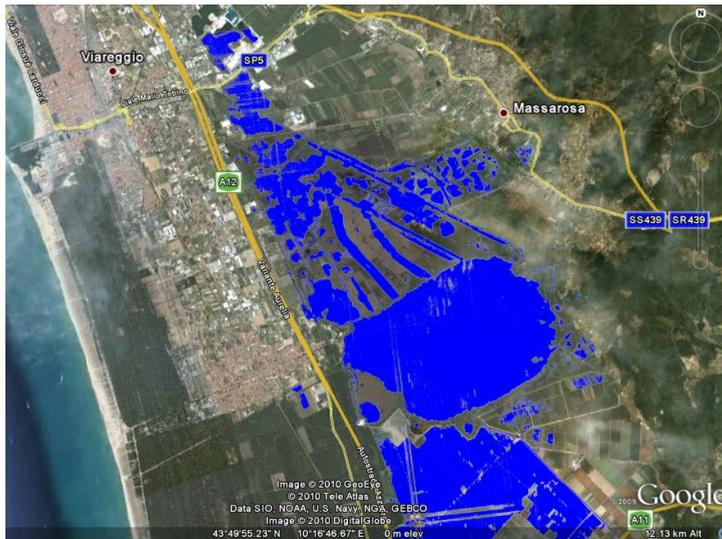


Figura 5 – Maschera delle aree coperte da acqua sovrapposta all’immagine GoogleEarth.

Risultati e conclusioni

L’applicazione dell’algoritmo *amplitude thresholding* produce risultati soddisfacenti nella separazione fra aree coperte e non coperte da acqua; inoltre le soglie locali estratte dalle singole sottoaree forniscono una buona stima della soglia da applicare all’intera immagine. Un esempio della segmentazione risultante, per il caso del Lago Massaciuccoli, è riportata in figura 5, ove la maschera delle aree coperte da acqua è sovrapposta alla corrispondente immagine ottica da GoogleEarth.

Ovviamente uno dei limiti dell'algoritmo, che in pratica identifica come aree inondate le aree dell'immagine SAR a bassi valori di σ_0 , è quello di potenziali confusioni con aree vegetate. Questo limite si manifesta anche nell'applicazione dell'approccio *amplitude change detection*, se l'esondazione avviene in corrispondenza di aree vegetate in ambedue le immagini considerate per il *change*. Estremamente interessante è, a tal proposito, l'informazione estratta dall'immagine della coerenza (in figura 6 la mappa estratta dalla coerenza della coppia 30/04-1/5 per il test-site del Tanaro). In questo caso, infatti, pur non disponendo di una coppia di immagini pre- e post-evento, la possibilità di analizzare una coppia interferometrica immediatamente successiva all'evento mette in evidenza la perdita di coerenza associata alla variazione delle proprietà dielettriche delle aree allagate.

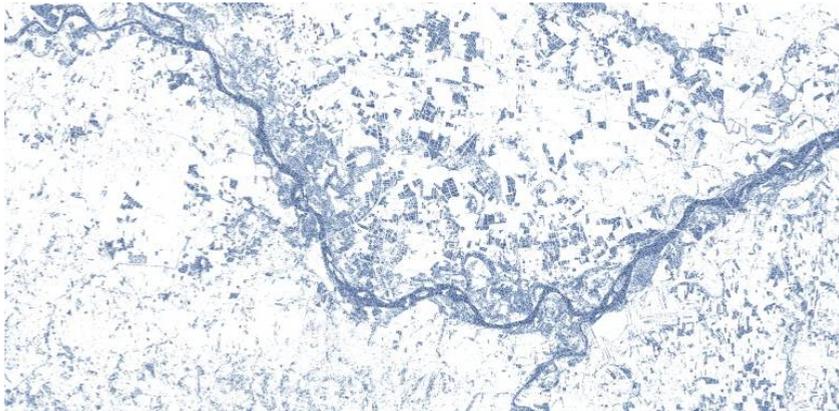


Figura 6 – Mappa di flooding estratta dall'immagine della coerenza per il test site Tanaro.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano il Prof. Luciano Guerriero del Politecnico di Bari per gli utili suggerimenti ed il Dipartimento della Protezione Civile per il supporto fornito e la disponibilità dimostrata.

Bibliografia

- Bovenga F., Refice A., Nutricato R., Guerriero L., Chiaradia M.T. (2004) "SPINUA: a flexible processing chain for ERS / ENVISAT long term interferometry", *Proceedings of ESA-ENVISAT Symposium 2004*, Salzburg, Austria.
- Bovolo F., Buzzone L. (2007) "A Split-Based Approach to Unsupervised Change Detection in Large-Size Multi-temporal Images", *IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens.*, 45:1628-1670
- Martinis S., Twele A., Voigt S. (2009) "Towards operational near real-time flood detection using a split-based automatic thresholding procedure on high resolution TerraSAR-X data", *Nat. Hazard Earth Syst. Sci.* 9: 303–314,
- Nico G., Pappalepore M., Pasquariello G., Refice A., Samarelli S. (2000) "Comparison of SAR amplitude vs. coherence flood detection methods - a GIS application", *International Journal of Remote Sensing*, 21: 1619-1632
- Opera (2009) Opera Project – Protezione civile dalle alluvioni, <http://www.operaproject.it>.