

SISTEMA PER LA RILEVAZIONE AUTOMATICA NEAR REAL-TIME DI INCENDI BASATO SU DATI MSG SEVIRI: DIMOSTRAZIONI OPERATIVE IN ABRUZZO E SARDEGNA

Massimo ZAVAGLI (*), Agata PRIOLO (*), Silvia LOZZI (*), Mario COSTANTINI (*),
Emilio Domingo IANNARELLI (**), Giorgio LODDO (***)

(*) Telespazio, Via Cannizzaro 71 - 00156 Roma, 06-40793833, massimo.zavagli@telespazio.it

(**) Regione Abruzzo - Protezione Civile - Servizio Previsione e Prevenzione dei Rischi, emiann@regione.abruzzo.it

(***) Regione Sardegna- Direzione Generale del Corpo Forestale e di Vigilanza Ambientale

Riassunto

In Telespazio, nell'ambito di un contratto con la Regione Abruzzo, per le applicazioni satellitari a supporto di attività operative, e di una collaborazione con il Corpo Forestale di Vigilanza Ambientale della Regione Sardegna nel progetto RISKEOS, è stato perfezionato un servizio di identificazione e monitoraggio degli incendi boschivi basato su elaborazione di dati telerilevati MSG SEVIRI.

Il sistema di rilevazione automatica di incendi, basato su dati di sensori geostazionari sviluppato in Telespazio, permette di ottenere alta sensibilità per l'identificazione di piccoli fuochi (inferiore a mezzo ettaro) nonostante la risoluzione del sensore attualmente disponibile sia di 3 Km x 3 Km. Inoltre, la prontezza nella rilevazione dell'incendio dovuta al breve tempo di rivisita del sensore (15 minuti) consente di realizzare un servizio operativo di allarme e di monitoraggio degli incendi. Al fine di sfruttare pienamente le potenzialità (alta frequenza di acquisizione) di questo sensore satellitare e di ovviare all'intrinseca bassa risoluzione, è stato sviluppato un processore algoritmico basato sull'uso congiunto di un modello fisico ed un modello adattativo applicato a dati multi spettrali. Tale tecniche introdotte in (Costantini, et al., 2006) sono coperte da brevetto internazionale.

Dopo una fase sperimentale durante l'estate 2007, il sistema completo di rilevazione e monitoraggio degli incendi è stato fornito alla Protezione Civile della Regione Abruzzo e al Corpo Forestale di Vigilanza Ambientale della Regione Sardegna come servizio durante l'estate 2008. Risultati di validazioni dimostrano le proprietà di operatività che tale servizio può fornire.

Abstract

Telespazio, in the framework of a contract with Regione Abruzzo and in the project RISKEOS with the collaboration of the Corpo Forestale di Vigilanza Ambientale della Regione Sardegna, has updated and improved a fire detection and monitoring service based on geostationary optical multispectral sensors MSG-SEVIRI.

The techniques implemented in the service system allow detecting even small fires (much smaller than the sensor spatial resolution) with the promptness made possible by the frequent acquisitions of a geostationary sensor. The described approach is based on the joined use of a physical model of the radiative transfer process and a purely mathematical adaptive predictive algorithm, useful also to detect clouds. A patent application is pending covering this technology introduced in (Costantini et al., 2006). A system implementing the proposed technique has been developed for the MSG-SEVIRI data and after a preliminary experimental phase during the 2007 Summer, the service has been operative in Abruzzo and in Sardinia during the 2008 Summer. The results demonstrate the validity of the technique and the feasibility of conceiving an operational system for fire detection based on geostationary satellite multispectral sensors.

Premessa

L'emergenza ambientale legata agli incendi boschivi rappresenta un campo di applicazione di forte interesse per lo sviluppo di sistemi automatici per la rilevazione ed il monitoraggio di incendi basati su dati satellitari. Fruttuose collaborazioni tra la Telespazio e utenti interessati a queste applicazioni hanno permesso di identificare requisiti essenziali per una efficace fornitura del servizio quali la prontezza e la sensibilità nella rilevazione di piccoli incendi e l'affidabilità. Inoltre hanno permesso di sviluppare opportune tecniche basate sull'elaborazione di dati multispettrali di sensori geostazionari come MSG-SEVIRI.

L'uso di dati di sensori multispettrali geostazionari è motivato dal fatto che sistemi di rilevazione di incendi basati su sensori satellitari in orbita polare come MODIS - TERRA e AQUA soffrono di una bassissima risoluzione temporale a causa del lungo tempo di rivisita. Infatti, un sensore polare acquisisce tipicamente al più due immagini della stessa scena al giorno. Per tale motivo, anche potendo sfruttare tutti i sensori ottici multispettrali polari in orbita, il tempo di rivisita è troppo lungo affinché possa essere realizzato un sistema multi-sensore per applicazioni real-time di rilevazione e monitoraggio di incendi.

Al contrario, sensori ottici geostazionari acquisiscono dati con elevata frequenza temporale (per esempio un dato ogni 15 minuti per il sensore MSG-SEVIRI), sebbene la risoluzione spaziale sia bassa (3 Km x 3 Km al nadir per MSG SEVIRI). L'utilizzo dell'informazione temporale contenuta nell'alta frequenza di acquisizione, oltre all'indubbio vantaggio di permettere un effettivo monitoraggio real-time del territorio, consente di aumentare, mediante l'uso di opportune tecniche, la sensibilità di rilevazione degli incendi così da superare i limiti intrinseci dovuti alla bassa risoluzione spaziale dei sensori geostazionari.

Nel seguito è riportata una descrizione delle tecniche alla base del servizio sviluppato da Telespazio e i risultati di validazione.

Algoritmo

Le tecniche e gli algoritmi sviluppati si basano sia su modelli fisici che su modelli matematici adattativi. Un modello fisico che descrive lo scambio energetico tra sensore, sole, atmosfera e superficie terrestre è applicato mediante analisi sub-pixel per stimare parametri utili alla rilevazione di incendi. Come supporto al modello fisico è stato sviluppato un modello adattivo che elabora lunghe serie temporali di dati SEVIRI al fine di identificare anomalie delle radianze acquisite dovute a nuvole o a fuochi.

Modello Fisico

Il modello fisico utilizzato descrive lo scambio energetico (figura 1), a livello radiativo, tra la superficie terrestre, l'atmosfera, il sole, il sensore MSG SEVIRI e l'eventuale incendio sulla superficie. Tale modello fisico è applicato ad ogni pixel del dato SEVIRI di MSG mediante una opportuna analisi sub-pixel che permette di distinguere i contributi dovuti ad un fuoco attivo nel pixel dal contributo dovuto alla parte rimanente della superficie terrestre nel pixel che non sta bruciando. In pratica le radianze rilevate in un pixel del dato multi-banda SEVIRI di MSG sono la somma delle seguenti differenti componenti: il sole riflesso, l'atmosfera, la parte del pixel che sta bruciando e la parte rimanente del pixel che non sta bruciando. L'inversione di questo modello fisico permette di stimare la superficie incendiata (interna al pixel), la temperatura al suolo e la potenza del fuoco se rilevato (figura 2). Per rendere la stima di tali parametri sufficientemente robusta si sfrutta la correlazione temporale dei dati. In particolare, l'inversione è effettuata mediante un procedimento dinamico che utilizza, oltre alla nuova acquisizione, le acquisizioni e le stime precedenti. La rilevazione ed il monitoraggio di incendi è effettuata mediante criteri di soglia applicati alla frazione di pixel incendiata che è stata stimata.

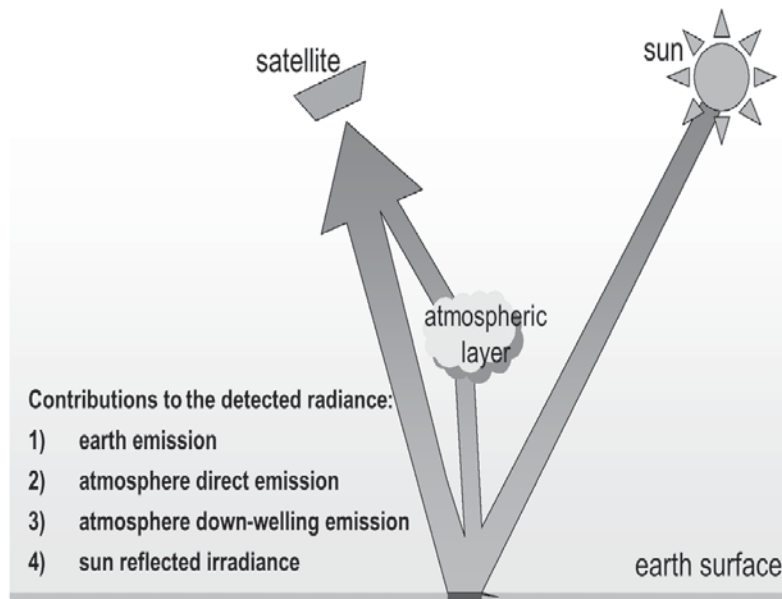


Figura 1 - Schema del modello di trasferimento radiativo in cui sono evidenziati i contributi alla radianza rilevata del sensore satellitare che sono tenuti in conto dal modello fisico.

Modello Adattativo

Il sistema dinamico che caratterizza il modello fisico può essere applicato solo nelle parti della scena in cui nuvole o fenomeni atmosferici che alterano le radianze non sono presenti, perché in tal caso le assunzioni alla base del modello non sono più valide. In questo ambito è richiesta elevata accuratezza nella stima della copertura nuvolosa. Infatti, anche i pixel che sono parzialmente coperti da nuvole o con foschia devono essere rilevati al fine di evitare di processare dati di radianza corrotti. Per identificar queste condizioni atmosferiche particolari, è stato sviluppato un modello adattativo predittivo del comportamento radiativo della superficie terrestre che sfrutta sequenze temporali dei frequenti dati MSG.

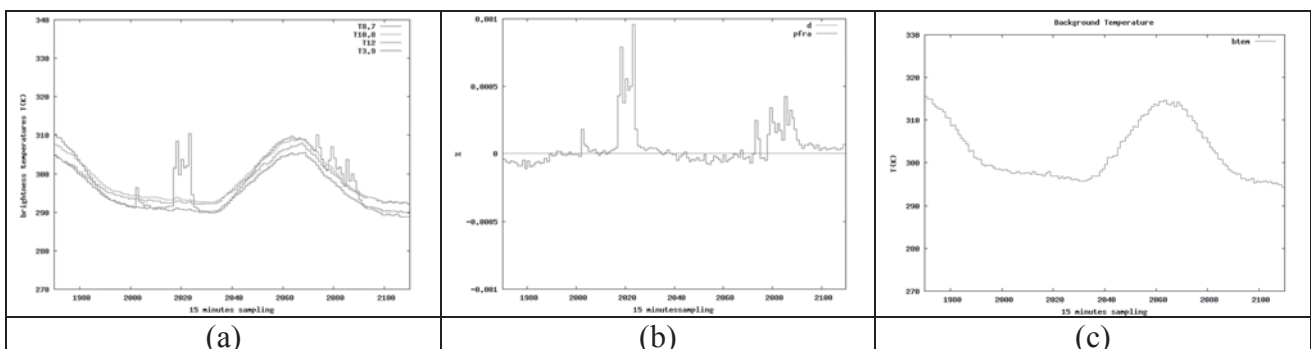


Figura 2 – Sequenze temporali (un giorno completo) dei dati processati (a) e dei prodotti generati (b) e (c). In ascissa è indicato il tempo (96 campioni in un giorno, uno ogni 15 minuti). In ordinata le temperature di brillantezza per 4 bande termiche (a), la dimensione stimata dell'incendio (misurata come frazione di pixel) (b), la stima della temperatura al suolo (c).

La figura 3 mostra una sequenza (circa 2 giorni) di dati di radianza dell'infrarosso termico (10.8 μm) in un pixel ed il modello adattivo usato per la rilevazione delle nuvole. La rilevazione delle nuvole è dato dalla curva verde.

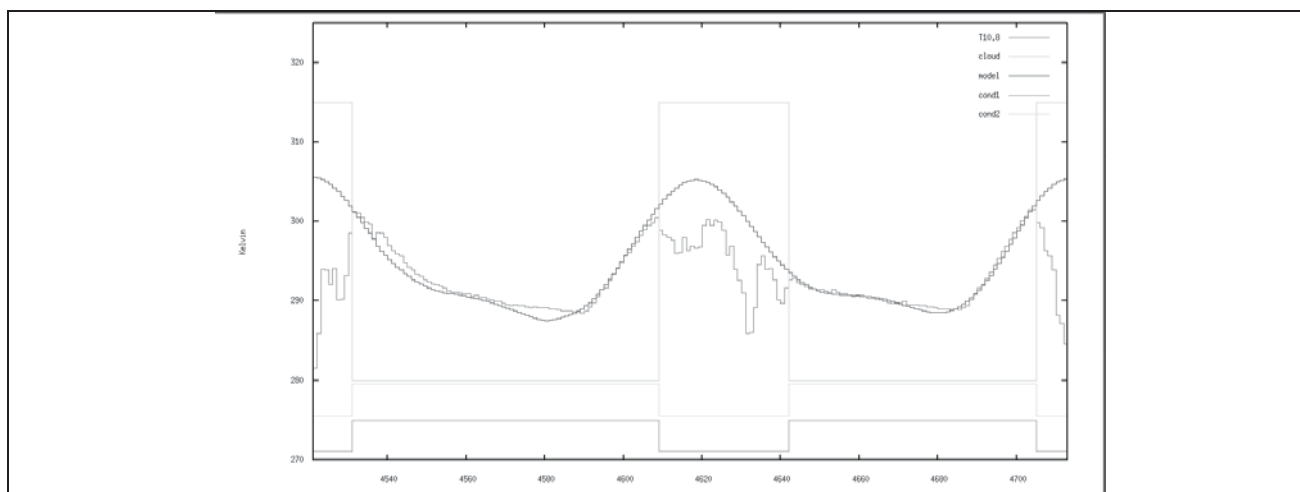


Figura 3 - Trend della temperatura di brillantezza della banda 10.8 um in un pixel di MSG SEVIRI (curva rossa) in cui sono evidenti le discontinuità dovute alle nuvole. La curva blu rappresenta il modello adattivo predittivo mentre la linea verde evidenzia il comportamento del cloud mask in questo pixel (nuvola quando il segnale è alto sereno quando è basso). L'effettiva prontezza di risposta del rilevatore di nuvole si può notare mediante una verifica visuale.

L'uso congiunto del modello fisico e di quello adattativo permette di rilevare fuochi con dimensione attiva molto piccola (anche inferiore a mezzo ettaro se l'incendio è sufficientemente potente) usando dati MSG SEVIRI che hanno una risoluzione di circa 3 Km X 3 Km. La prontezza della rilevazione è resa possibile dalle frequenti acquisizioni del sensore geostazionario (una ogni 15 minuti per MSG SEVIRI).

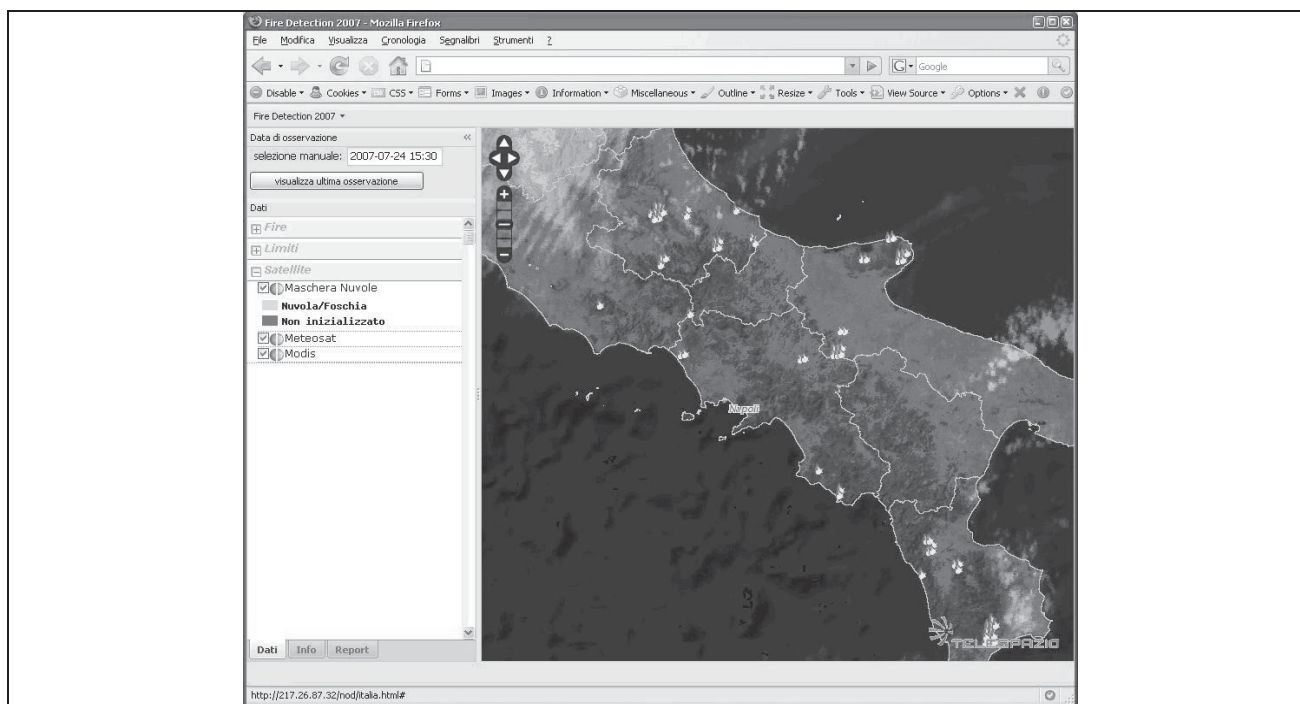


Figura 4 – Interfaccia WEB GIS sul browser Mozilla in cui sono evidenti gli incendi attivi del 24 Luglio 2007 alle ore 15:30. Sullo sfondo sono visibili immagini SEVIRI HRV.

I prodotti generati dal sistema, insieme ad immagini HRV di SEVIRI e al cloud mask, sono infine resi disponibili agli utenti mediante un sistema WEB GIS (figura 4) che ne permette la fruizione, la visualizzazione ed il download.

Validazione degli algoritmi

Un sistema di rilevazione automatica e monitoraggio di incendi è stato sviluppato nell'ambito di attive collaborazioni con la Regione Abruzzo e la Regione Sardegna. Tale servizio è stato anche validato con il supporto di verità a terra fornite dalla Protezione Civile della Regione Abruzzo e dal Corpo Forestale della Regione Sardegna rispettivamente nei territori di competenza. I risultati mostrano la validità della tecnica nell'offrire un sistema efficace di rilevazione e monitoraggio di incendi basato su sensori multi spettrali geostazionari come MSG SEVIRI.

I risultati di validazione, di seguito riportate, sono limitati al territorio della Sardegna e all'estate 2007, mentre una preliminare analisi della validazione sul territorio dell'Abruzzo, tuttora in corso, mostra che le performance del sistema in tale regione sono equiparabili a quelle stimate in Sardegna.

I parametri fondamentali usati per validare gli algoritmi sono i seguenti:

- Detection Rate (DR): rapporto tra gli incendi rilevati e tutti gli incendi avvenuti. La formula usata è $D_HS/(D_HS+S_HS)$, dove gli incendi rilevati (D_HS) sono considerati raggruppamenti di pixel incendiati vicini nello spazio e nel tempo e S_HS sono gli incendi non rilevati.
- False Alarm Rate (FAR): rapporto tra le false rilevazioni e tutte le rilevazioni. La formula usata è $F_HS/(D_HS+F_HS)$, dove i falsi e i veri incendi rilevati (rispettivamente F_HS e D_HS) sono considerati raggruppamenti di pixel incendiati vicini nello spazio e nel tempo.

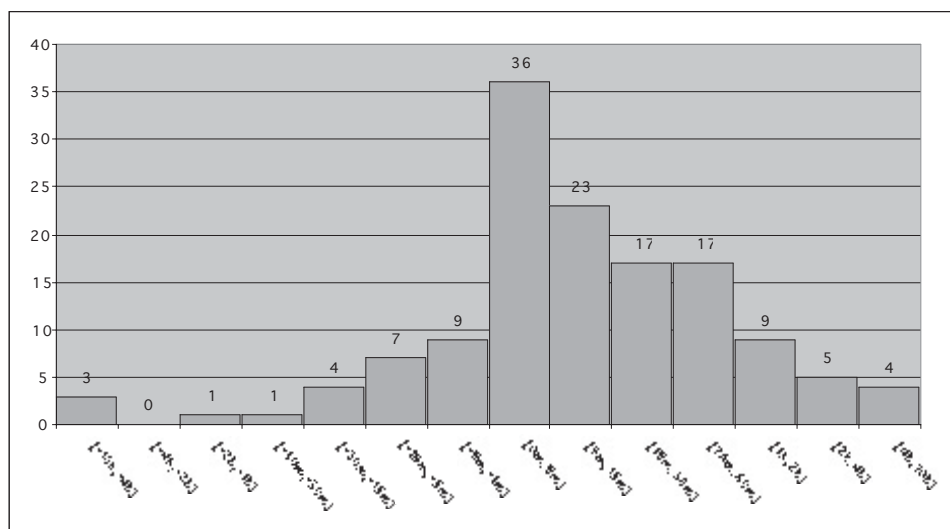
Per la stima dei DR si è usato classificare gli incendi rispetto alla loro dimensione attiva misurata rispetto alla lunghezza del fronte di fiamma (Fire Front Length). Per la stima del DR dell'algoritmo si è inoltre evitato di usare verità a terra AIB che fossero risultati nuvolosi poiché relativi ad incendi effettivamente non rilevabili.

Detection Rate vs. fire front length			
Fire front length (FF) [metri]	AIB non nuvolosi [#]	Incendi rilevati [#]	Detection rate [%]
FF >= 800	8	8	100.00%
FF >= 600	13	11	84.62%
FF >= 500	18	13	72.22%
FF >= 300	37	21	56.76%
FF >= 200	60	32	53.33%
FF >= 100	128	56	44.53%
FF >= 70	144	60	42.36%
FF >= 50	196	69	35.71%
FF >= 30	258	74	29.07%
FF >= 20	312	76	24.68%
FF >= 10	385	77	20.26%
FF > 0	453	78	17.44%

Relazione tra Detection Rates e lunghezza del fronte fuoco (classi cumulative). Questa tabella considera 78 eventi relative ad AIB provvisti di informazione sul fronte fuoco.

False Alarm Rate	
Totale degli incendi rilevati	150
Incendi reali rilevati	144
Falsi allarmi	6
False Detection rate	4.00 %

Prontezza della rilevazione



Istogramma con i ritardi di rilevazione misurati come la differenza tra i tempi di rilevazione dell'incendio mediante dati MSG SEVIRI e la rilevazione in situ riportata negli AIB.

Persistence

(valore medio di persistenza) 16.8%

La persistenza di ogni rilevazione è calcolata considerando il rapporto tra il numero delle acquisizioni di SEVIRI di MSG nel quale l'incendio è stato rilevato e il numero delle acquisizioni nel periodo di tempo in cui è durato l'incendio, come riportato negli AIB.

Conclusioni

Nonostante l'efficacia e le proprietà di operatività che tale servizio, basato sul sensore MSG-SEVIRI, può fornire, è di rilevanza notare che satelliti geostazionari di nuova generazione (Meteosat Third Generation MTG) che verranno resi operativi verso il 2015, stanno per essere sviluppati anche su requisiti mirati ad applicazioni di rilevazione di incendi oltre che ovviamente ad applicazioni di meteorologia (EUMETSAT 2007). A questo proposito per esempio, la risoluzione spaziale delle bande infrarosse sarà incrementata e anche la risoluzione radiometrica e la soglia di saturazione delle bande sensibili agli incendi (3,9 μm) verrà resa idonea alle applicazioni di rilevazione di incendi. Tale perfezionamento della esistente tecnologia dei sensori geostazionari comporterà un ulteriore miglioramento delle prestazioni del sistema attualmente sviluppato.

Bibliografia

M. Costantini, M. Zavagli, E. Cisbani, B. Greco, (2006) "A Technique for Automatic Fire Detection from Geostationary Optical Sensors and its Validation on MSG SEVIRI Data", IGARSS2006, Orlando, USA, 2006.

EUMETSAT (2007) - MTG Mission Requirements Document, doc. EUM/MTG/SPE/06/0011, Issue v2C, 10 December 2007, <http://www.eumetsat.int>