



AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME TEVERE

irpi

ISTITUTO RICERCA PROTEZIONE IDROGEOLOGICA
CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

AREE INONDATE ALTO E MEDIO TEVERE
EVENTO DI PIENA DEL NOVEMBRE 2005

S. Barbetta, L. Brocca, F. Melone, T. Moramarco, M. Stelluti

Settembre 2007

INDICE

1. Introduzione	1
2. Fase Conoscitiva	1
2.1. Acquisizione RADARSAT	1
2.2. Acquisizione MODIS	3
3. Fase Analitica	5
3.1. Immagini RADARSAT	5
3.2. Immagini MODIS	7
4. Fase Restitutiva.....	13
4.1. Rilevamento Aerofotogrammetrico del Dipartimento della Protezione Civile (DPC)....	14
4.2. Restituzione Digitale Volo Vigili del Fuoco di Perugia (VVFF)	14
4.3. Rilievi fotografici e Sopralluoghi della Provincia di Perugia (PrPG)	15
4.4. Rilievi IRPI-CNR	16
4.5. Analisi Immagini RADARSAT-1 e MODIS.....	17
4.6. Confronto Aree Inondate Evento e Fascia A del PAI.....	18
5. Conclusioni	18
6. Ringraziamenti.....	19
7. Bibliografia	19

1. INTRODUZIONE

A seguito dell'evento occorso dal 25 al 28 Novembre 2005 nell'Alto e Medio bacino del Fiume Tevere è stata condotta un'analisi sulla perimetrazione delle aree inondate lungo la rispettiva asta principale.

L'analisi qui presentata è articolata in tre fasi. La prima, conoscitiva, riguarda sia la raccolta di informazioni mediante interviste in situ, sopralluoghi, fotografie/filmati, rilievi effettuati in corso d'evento dagli Enti predisposti al controllo e monitoraggio della piena, sia l'acquisizione di immagini satellitari. La seconda, analitica, concerne l'elaborazione di immagini satellitari disponibili e in particolare SAR-RADAR nelle microonde e MODIS nella banda ottica. La terza fase, restitutiva, individua, sulla base delle inferenze effettuate nelle due fasi precedenti, le aree inondate dalla piena del Novembre 2005 lungo l'asta principale del Tevere a partire dalla sezione idrometrica di Monte Molino fino all'abitato di Città di Castello.

2. FASE CONOSCITIVA

Per quanto riguarda la prima fase, sono stati effettuati dei sopralluoghi lungo l'asta del Tevere a partire dalla località Fanciullata, nel Comune di Deruta, fino alla Diga di Montedoglio. Sulla base delle informazioni raccolte sono stati individuati e restituiti i siti sicuramente allagati e complementari a quelli derivabili mediante foto, filmati e rilievi. Per quanto riguarda la documentazione fotografica, sono state acquisite le foto effettuate nei giorni 26, 27 e 28 Novembre dai tecnici della Provincia di Perugia procedendo successivamente alla loro geo-referenziazione (si veda Tabella 1 e Allegato 4). Allo stesso tempo, è stato restituito su cartografia IGM il filmato dei Vigili del Fuoco di Perugia effettuato il 27 Novembre e che si estende, in maniera non uniforme, dalla zona di Deruta fino a Ponte Valleceppi, frazione del comune di Perugia. Per le fasce perifluviali del Tevere a valle di Deruta si è fatto riferimento al rilievo aerofotogrammetrico effettuato dal Dipartimento della Protezione Civile durante la giornata del 28 Novembre.

Le immagini satellitari acquisite e disponibili fanno riferimento a due fotogrammi SAR ottenuti tramite il satellite commerciale canadese RADARSAT-1 ed a riprese effettuate mediante il satellite multispettrale MODIS.

2.1. Acquisizione RADARSAT

RADARSAT-1 è un satellite commerciale lanciato per l'osservazione della terra nel Novembre del 1995 dall'Agenzia Spaziale Canadese (CSA). Questo satellite percorre un'orbita completa in 100.7 minuti ad una quota di 798 Km sopra la superficie terrestre, con una inclinazione di 98.6°; 14 orbite sono tracciate giornalmente e presenta un tempo di rivisitazione pari a 24 giorni. A bordo del suddetto satellite è presente il Synthetic Aperture Radar Radio Detection And Ranging (SAR - RADAR) che rappresenta uno strumento attivo operante nella banda delle microonde; il funzionamento di tale rilevatore si basa sull'emissione di onde elettromagnetiche (EM), tipicamente sotto forma d'impulsi, e sull'acquisizione degli echi riflessi dagli oggetti colpiti dal segnale. Il ricevitore, montato sul sistema, permette di registrare le onde EM riflesse dagli oggetti colpiti

misurando la potenza e il tempo di ritardo dell'onda stessa. Attraverso l'interpretazione di queste informazioni è possibile determinare sia le caratteristiche tipiche dell'oggetto colpito sia la sua posizione.

Nei SAR è lo stesso sensore che genera la sorgente di illuminazione, cioè l'impulso radar, caratteristica che permette il funzionamento in qualunque condizione di illuminazione solare, sia di giorno che di notte. Inoltre, l'uso di radiofrequenze permette al SAR di funzionare anche attraverso le nubi, la nebbia, la pioggia, il fumo e le coperture arboree, contrariamente a quanto avviene per i sensori che operando nel campo del visibile e dell'infrarosso sono operativi solo in particolari condizioni. Il sensore RADAR restituisce un'immagine composta da un insieme di pixel (picture element), ciascuno dei quali mostra la riflettività radar media di una determinata porzione della superficie colpita dal segnale emesso. Le dimensioni a terra del pixel dipendono dalle capacità risolutive del RADAR. Tipicamente, le aree scure dell'immagine sono associate a bassi valori di riflettività, al contrario aree chiare denotano una riflettività del segnale radar maggiore. La riflettività caratteristica di un'area dipende dalla lunghezza d'onda e dalla polarizzazione del segnale utilizzato, dall'angolo d'osservazione, dalle caratteristiche geometriche e dalle proprietà dei materiali presenti nell'area. Per quanto riguarda il terreno, la riflettività dipende dalle caratteristiche dello strato superficiale del suolo (rugosità superficiale, vegetazione, topografia) tra le quali la più importante è la costante dielettrica del mezzo da cui dipende il contenuto d'acqua.

In particolare, il SAR a bordo del RADARSAT-1 è operante nella banda C con lunghezza d'onda pari a 5.6 cm (frequenza pari a 5.3 GHz) con polarizzazione HH, cioè polarizzazione orizzontale (H) sia dell'onda emessa che di quella ricevuta. La risoluzione a terra del sensore può variare, a seconda delle esigenze, da 10 a 100 m circa. Inoltre, il sensore è stato dotato della capacità di ruotare, abilità che gli permette di focalizzare la zona d'interesse e di fornire un maggior numero di immagini con angolazioni differenti.

Per l'evento di piena oggetto del presente studio sono disponibili due fotogrammi SAR che fanno riferimento a due differenti scenari a cavallo dell'evento stesso:

- 1) Scena RADARSAT Standard Beam, Map Image, Geotiff del 05/11/2005 16:58:00;
- 2) Scena RADARSAT Standard Beam, Map Image, Geotiff del 29/11/2005 16:58:00.

Va evidenziato, tuttavia, che il secondo fotogramma relativo al 29 Novembre può dare solo un'informazione parziale sulle aree effettivamente inondate visto che la piena ha avuto il suo colmo durante la giornata del 27 Novembre nell'Alto Tevere e del 28 Novembre nel Medio Tevere. I suddetti fotogrammi sono stati acquisiti durante l'orbita ascendente del satellite, con angolo d'incidenza di 33.97° e ricoprono un'area di 563 Km^2 con pixel quadrati di 12.5 m di lato. Il formato restituito è di tipo a 16-bit georeferenziato in coordinate UTM33-WGS84. Tutte le analisi condotte sui fotogrammi sono state effettuate tramite tre softwares specifici: ArcMap, ERMapper ed ENVI. I due fotogrammi, a titolo di esempio, sono mostrati in Figura 1 con riferimento all'area compresa tra la zona a monte della confluenza Chiasco-Tevere e quella a valle di Ponte Nuovo.

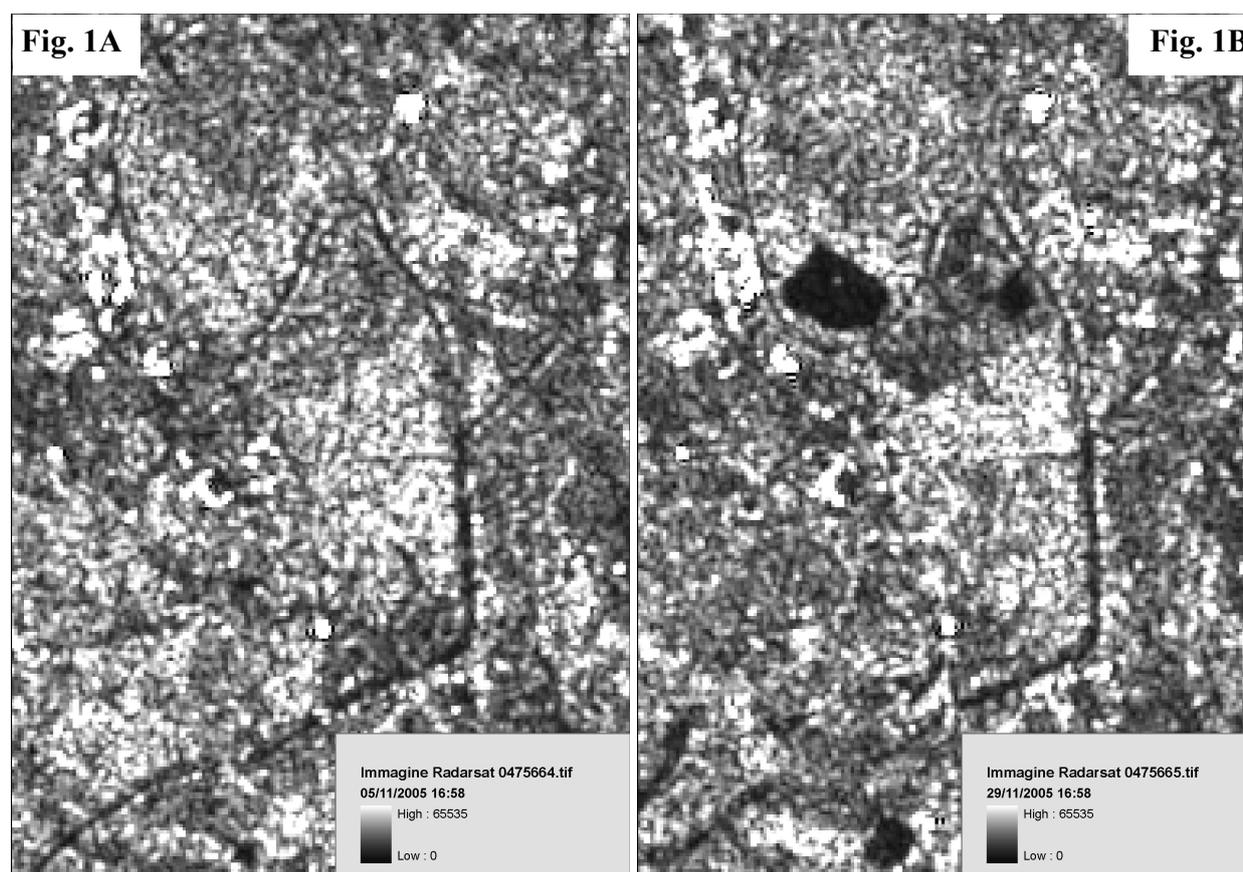


Figura 1 – Confronto tra i due fotogrammi SAR acquisiti per la zona di Ponte Nuovo alla confluenza tra il Fiume Chiascio e il Fiume Tevere prima (1A) e dopo (1B) l’evento 25-28 Novembre 2005.

2.2. Acquisizione MODIS

I satelliti TERRA e AQUA sono il risultato di una joint venture tra l’agenzia spaziale americana NASA e quella giapponese NASDA. Questi satelliti sono stati creati appositamente per il programma EOS (Earth Observing System) che ha come principale obiettivo quello di migliorare la conoscenza sui cambiamenti globali terrestri attraverso l’osservazione continua del pianeta. Il satellite TERRA sorvola il pianeta da nord a sud durante la mattina, mentre AQUA segue la direzione sud-nord e transita nelle ore pomeridiane. Entrambi volano su un’orbita eliosincrona quasi-polare, ad un’altezza di 705 km dalla superficie terrestre. Tale orbita comporta due passaggi giornalieri per ciascun satellite, approssimativamente alla stessa ora solare ogni giorno. AQUA passa sull’Italia all’incirca alle 01:30 a.m. e p.m., e i suoi passaggi sono complementari a quelli del satellite TERRA che, con strumenti simili, fornisce misure alle 10:30 a.m. e p.m..

Su entrambi i suddetti satelliti è montato il MODIS, uno spettroradiometro a 36 bande che misura la radiazione dalla lunghezza d’onda del visibile e quella dell’infrarosso termico. In particolare, le prime sette bande sono quelle orientate principalmente allo studio della superficie terrestre. Tali bande hanno una risoluzione spaziale di 250 m per la banda 1 (rosso, 620-670 nm) e la banda 2 (vicino infrarosso, 841-876 nm) ed una risoluzione di 500 m per le bande dalla 3 alla 7 con lunghezze d’onda pari rispettivamente a 459-479 nm, 545-565 nm, 1230-1250 nm, 1628-1652 nm e 2105-2155 nm. Le rimanenti 29 bande hanno una risoluzione di 1 km e sono utilizzate per l’analisi dei processi atmosferici.

Il primo MODIS fu lanciato a bordo del satellite TERRA nel Dicembre 1999, il secondo su AQUA nel Maggio 2002. Da allora i loro dati globali sono disponibili e utilizzati negli studi per la comprensione delle dinamiche globali e dei processi relativi alla terra, agli oceani e agli strati più bassi dell'atmosfera. Infatti, una cura particolare è stata dedicata alla creazione e alla distribuzione di prodotti specifici, cercando di facilitarne al massimo la fruizione da parte degli utenti finali nei settori della ricerca e delle applicazioni. Quindi, esistono prodotti MODIS Atmosphere, Land, Ocean. Alcuni di questi prodotti sono disponibili e scaricabili tramite browser come immagini, altri necessitano di ulteriori elaborazioni da parte dell'utente. L'elevato numero di bande presenti nel sensore MODIS permette, quindi, di derivare prodotti relativi alla vegetazione (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index), alla tipologia della superficie terrestre (17 categorie di copertura al suolo), al bilancio energetico terrestre (LST, Land Surface Temperature), alla fluorescenza della clorofilla sugli oceani, alle proprietà delle nubi e degli aerosol, agli incendi, alla neve (albedo e copertura nevosa attraverso l'indice NDSI, Normalized Difference Snow Index), all'estensione delle aree inondate e ai ghiacci sul mare. Per quanto riguarda le aree inondate, bisogna tenere presente che l'identificazione dei pixel interessati dall'acqua è molto difficoltosa. Infatti, acque basse o acque torbide possono essere confuse con il suolo e, viceversa, il suolo saturo può essere confuso con acqua. Inoltre, un pixel all'interfaccia acqua-suolo può rappresentare condizioni intermedie tra suolo e acqua (Jain et al., 2005).

Allo scopo di determinare le aree inondate per l'evento di Novembre 2005, sono state analizzate tutte le immagini MODIS appartenenti ad entrambi i sensori AQUA e TERRA per il periodo compreso tra il 25 e il 28 Novembre 2005 (4 immagini al giorno). Di tali immagini, soltanto quelle diurne e libere da copertura nuvolosa possono essere utilizzate per la determinazione delle aree allagate poiché il sensore MODIS, operante nella banda ottica, necessita di tali condizioni per l'analisi della superficie terrestre, a differenza dei sensori SAR che, come già precedentemente sottolineato, sono operativi in ogni condizioni meteorologica. Pertanto, sono state selezionate per l'analisi solo le immagini relative al 28 Novembre 2005 ore 10.45 (satellite TERRA) e al 28 Novembre 2005 ore 12.25 (satellite AQUA). A titolo di esempio, la Figura 2 riporta la prima immagine in riflettanza per la banda 2 (vicino infrarosso, 841-876 nm) centrata nell'area di studio. In particolare, sono state utilizzate le prime due bande in quanto caratterizzate da una risoluzione spaziale di 250 m più idonea allo studio in oggetto. In tale immagine è facilmente riconoscibile il mare (in nero), il lago Trasimeno e il corso principale del fiume Tevere che risultano più chiari rispetto alla zona circostante. Si noti in bianco la presenza di nuvole le cui rispettive ombre dovranno essere escluse dalle analisi successive.

Un'ulteriore immagine MODIS del satellite TERRA è stata selezionata per il giorno 20 Novembre. Questa, precedente all'evento di piena, non presenta segni dell'esondazione e risulta caratterizzata da assenza di nuvole; pertanto, è stata utilizzata come base di confronto.

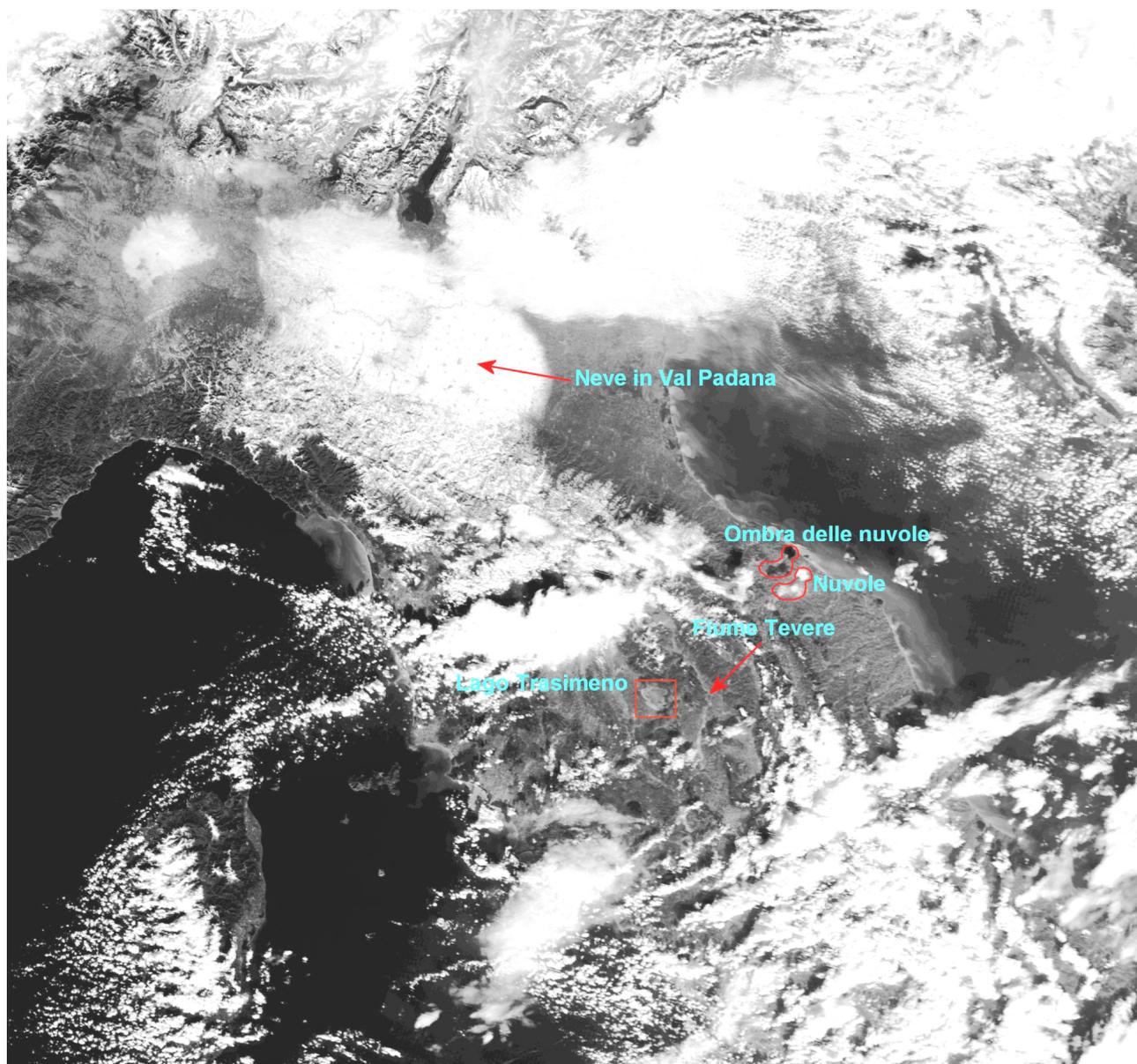


Figura 2 – Immagine MODIS-TERRA per la banda 1 (vicino infrarosso, 841-876 nm) centrata nell’area di studio e relativa al 28 Novembre 2005 ore 10.45.

3. FASE ANALITICA

Tale fase è relativa alle elaborazioni delle immagini satellitari MODIS e RADARSAT per l’individuazione delle aree inondate.

3.1. Immagini RADARSAT

In collaborazione con l’istituto di Fisica Applicata “Nello Carrara” del CNR di Firenze (IFAC) è stata determinata una nuova procedura per l’individuazione dei cambiamenti nella menzionata coppia di immagini SAR. Il procedimento non prevede l’eliminazione preventiva del rumore per ogni singola immagine e dimostra che il logaritmo del segnale del pixel di una immagine in rapporto al livello dello stesso pixel nell’altra immagine fornisce informazioni sulla quantità dei cambiamenti occorsi fra i due passaggi successivi fornendo un valore del “coefficiente

di variazione” (CV). Tale valore è individuato dal logaritmo del rapporto tra l’immagine del 29 Novembre (prima immagine) e del 5 Novembre (seconda immagine), a cui è stato applicato un filtro gaussiano. L’immagine risultante è stata trasformata ad 8-bit in modo tale da ottenere l’immagine di CV con valori che vanno da 0 a 255. Il logaritmo assume valori vicini a zero quando le due immagini non cambiano, assume valori maggiori di zero quando il segnale di ritorno della seconda immagine (5 Novembre) è minore di quello della prima immagine (29 Novembre) ed assume valori minori di zero nel caso contrario. Partendo dal presupposto che, a parità di condizioni, la presenza di acqua sulla superficie terrestre fa sì che la potenza del segnale registrata dal sensore satellitare sia minore di quella che si avrebbe in assenza di acqua, le zone potenzialmente allagate saranno caratterizzate da valori negativi dei coefficienti di variazione. Al contrario, a parità di condizioni, la presenza di una forte umidità del terreno riflette una maggiore quantità di segnale rispetto al terreno completamente asciutto e questo determina un valore elevato del logaritmo del rapporto dei segnali (Aiazzi et al., 2007). Nel caso specifico delle due immagini SAR acquisite, la distribuzione dei valori dell’immagine del CV nel range 0-255, mostrati in Figura 3, ha permesso di effettuare una classificazione così definita:

- aree allagate, per pixel con un valore minore di 128;
- aree a forte umidità, pixel con valore maggiore di 160.

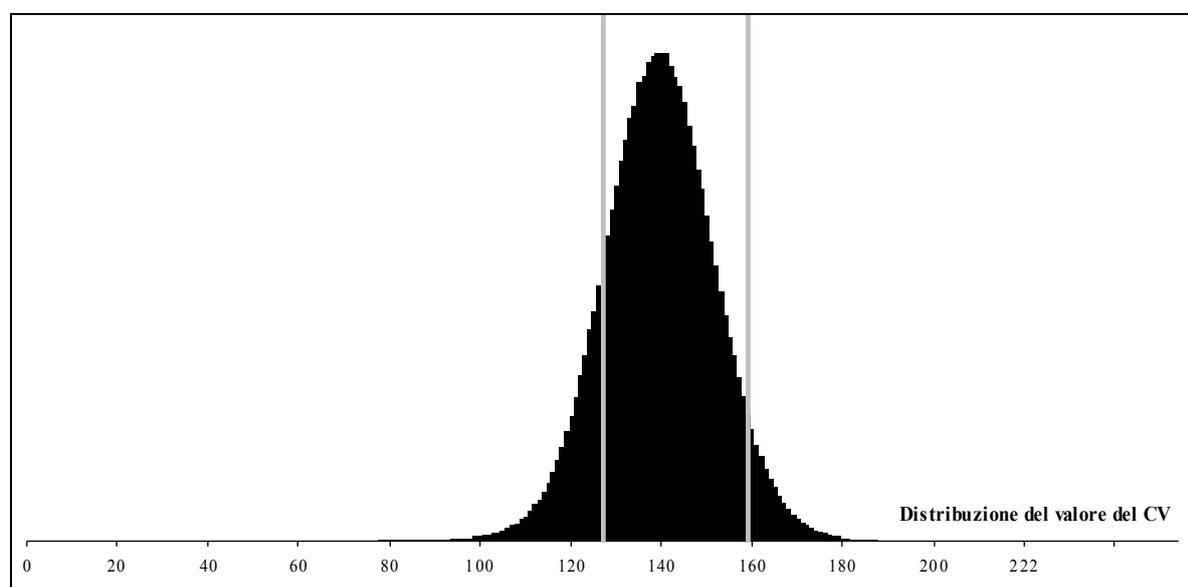


Figura 3 – Istogramma dell’andamento della distribuzione del “Coefficiente di Variazione” (CV) scalato tra 0 e 255. Le linee verticali indicano le soglie per la classificazione delle aree allagate (pixel con valori minori di 128) ed a elevata umidità (pixel con valori maggiori di 160).

I risultati sperimentali, ottenuti attraverso la coppia di immagini SAR di riferimento per l’evento alluvionale del Novembre 2005, sono mostrati in Allegato I ed a titolo di esempio in Figura 4 relativamente alla zona che si estende dal tratto a monte della confluenza del Fiume Chiascio con il Tevere fino al sito di Ponte Nuovo. Questa zona è stata particolarmente interessata

dall'inondazione anche a causa della rotta arginale occorsa a monte della confluenza del Fiume Chiascio con il Fiume Tevere, che è stata analizzata mediante l'utilizzo di un modello idraulico bidimensionale, per i cui dettagli si rimanda al Rapporto di Evento (Barbetta et al., 2007). Va evidenziato che l'area inondata mostrata nella Figura 4 rappresenta quella che il satellite ha rilevato il 29 Novembre e, pertanto, risulta sottostimata rispetto a quella effettiva. Si può inoltre notare come l'informazione ottenuta risulta essere distribuita a “macchia di leopardo” sia per le aree “allagate” sia per quelle “molto umide” incorporando tuttavia alcuni falsi positivi (Aiazzi et al., 2007). Si rimanda al paragrafo 4 per un'analisi di dettaglio del dato.

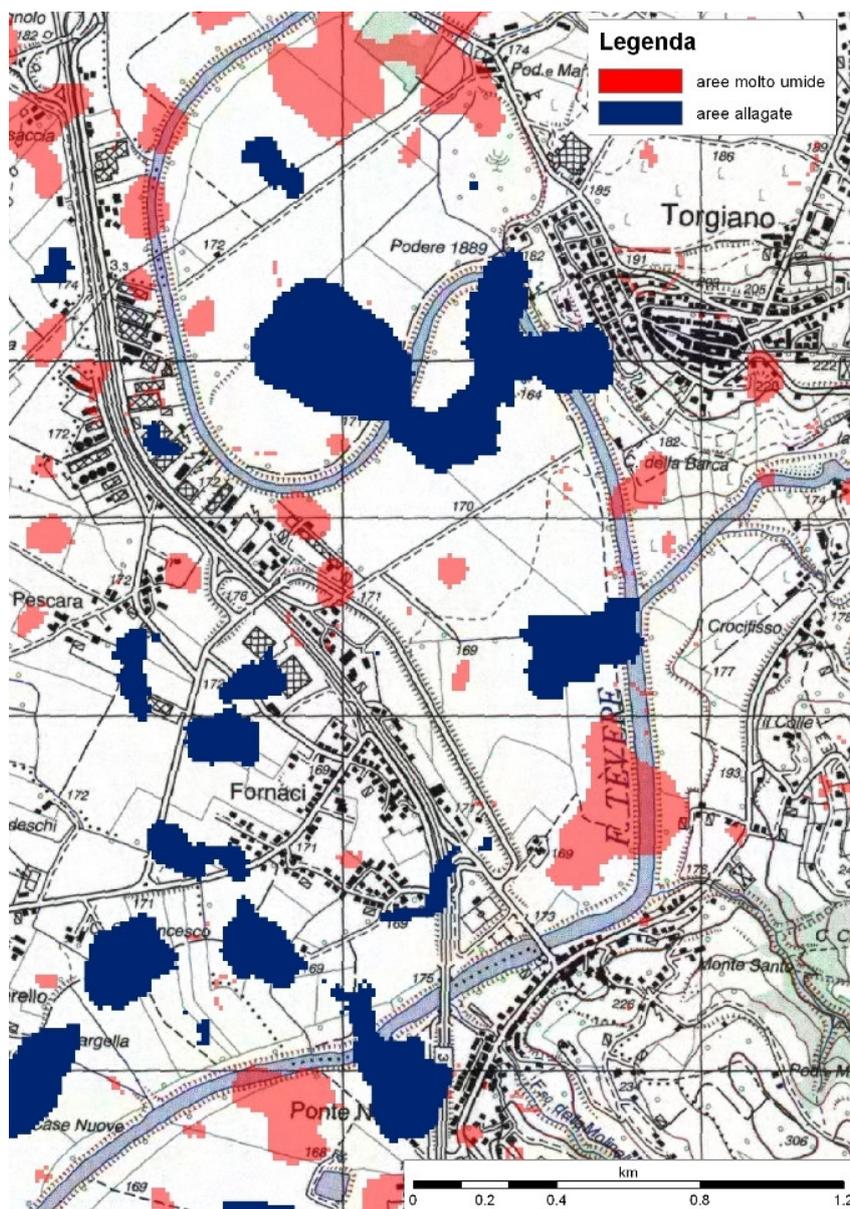


Figura 4 – Individuazione, attraverso la metodologia proposta, delle aree ancora coperte dall'acqua durante la giornata del 29 Novembre 2005 nella zona di confluenza del Fiume Tevere con il Fiume Chiascio (località Ponte Nuovo).

3.2. Immagini MODIS

Come già precedentemente specificato, per la determinazione delle aree allagate da MODIS sono state utilizzate le prime due bande con risoluzione spaziale di 250 m relative alle immagini del

28 e del 20 Novembre 2005 (Zhan et al., 2001). Considerando la riflettanza in termini assoluti, è da mettere in evidenza che le due immagini per l'area limitrofa al corso d'acqua sono caratterizzate da valori alquanto contenuti sia nella banda del vicino infrarosso (banda 2) che in quella del rosso (banda 1). Inoltre, il confronto delle due immagini per una stessa banda ha evidenziato una sostanziale variazione della riflettanza solo per la banda 1 con un aumento dei valori per l'area interessata dall'inondazione, come era da aspettarsi, sulla base della firma spettrale in riflettanza (si veda Figura 5), per la presenza di acqua bassa e torbida. Da quanto detto sopra, per l'individuazione delle aree allagate è stato calcolato per entrambe le immagini l'indice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) utilizzato generalmente anche per altri scopi e definito da:

$$\text{NDVI} = \frac{\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{RED}}}{\rho_{\text{RED}} + \rho_{\text{NIR}}} \quad (1)$$

dove ρ_{NIR} e ρ_{RED} sono, rispettivamente, la riflettanza relativa alla banda del vicino infrarosso e quella del rosso. Tale indice è stato calcolato per un'area di 890×890 pixel ($\sim 50000 \text{ km}^2$) centrata sull'area di studio. Insieme all'NDVI sono stati considerati altri indici proposti nella letteratura per l'individuazione delle aree inondate, la cui stima è sempre basata sui dati ρ_{NIR} e ρ_{RED} della stessa immagine. In particolare, come riportato in letteratura (Jain et al., 2005; 2006), sono state considerate le due bande prese singolarmente, il rapporto o la differenza tra le stesse. Altri indici basati su entrambe le immagini relative ai giorni 20 e 28 Novembre hanno fornito risultati poco affidabili a causa, soprattutto, dell'influenza delle nuvole.

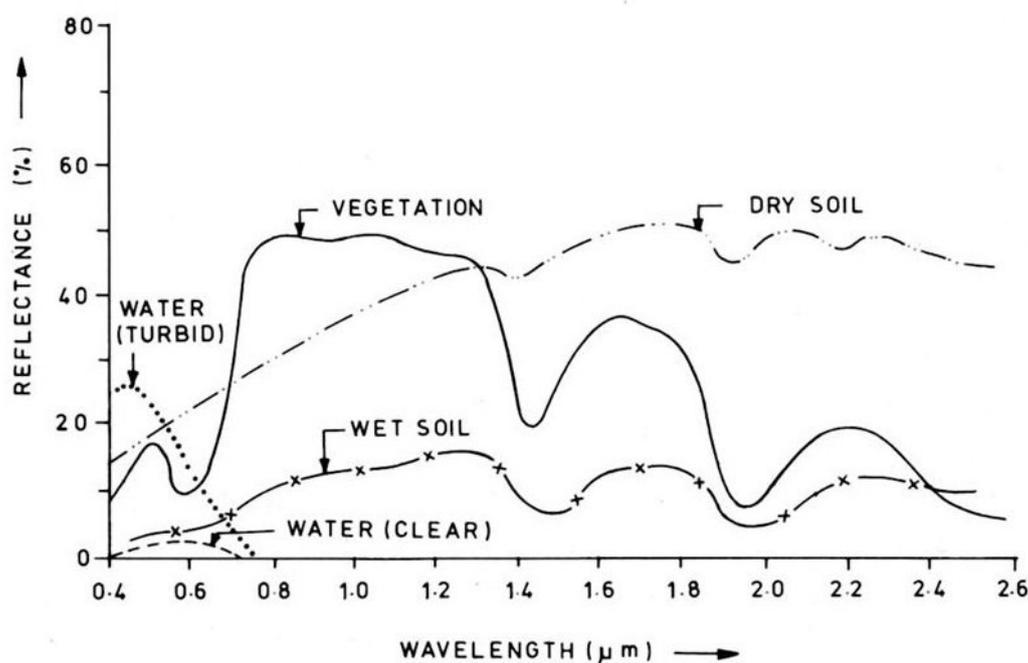


Figura 5 – Firma spettrale in riflettanza di alcune caratteristiche della superficie terrestre.

Mediante il confronto delle immagini relative ai vari indici considerati con quella delle aree inondate 'osservate' (cioè derivate dal rilevamento aerofotogrammetrico, dal volo dei Vigili del Fuoco, dalla documentazione fotografica e dai sopralluoghi dell'IRPI-CNR e della Provincia di Perugia) è risultato che l'indice NDVI fornisce una stima abbastanza soddisfacente delle aree

‘osservate’ fornendo altresì un minimo numero di pixel identificati come “false” inondazioni. Questo è ben evidente dal confronto con la restituzione aerofotogrammetria effettuata dal Dipartimento della Protezione Civile (DPC) per l’asta del Tevere da Ponte Rio (Monte Molino) a Marsciano, come verrà illustrato più avanti. Va evidenziato, tuttavia, che anche per gli altri indici sono stati ottenuti risultati non discordanti per tale area dove il terreno adiacente al corso d’acqua era effettivamente allagato nella giornata del 28 Novembre quando è stata acquisita l’immagine satellitare. Viceversa, l’indice NDVI è risultato più rappresentativo per la zona di monte dove l’area effettivamente inondata durante le giornate del 26 e 27 Novembre presentava nella giornata del 28 un terreno estremamente bagnato piuttosto che spessori considerevoli d’acqua.

La Figura 6 mostra l’indice NDVI ricavato dalle immagini MODIS-TERRA del 20 e 28 Novembre 2005 dove il rosso identifica la presenza di nuvole, che hanno l’effetto di schermare l’immagine, e la neve che ha una risposta simile alle nuvole. In particolare, le parti c) e d) riportano un ingrandimento dell’area compresa tra il lago di Corbara e Umbertide. Dal confronto delle due immagini viene subito evidenziata l’area allagata lungo la fascia fluviale del Tevere tra Monte Molino e Ponte Nuovo che risulta caratterizzata da un indice NDVI più basso rispetto alle condizioni precedenti l’evento.

Allo scopo di determinare una soglia che caratterizzi le aree esondate, entrambe le immagini sono state ritagliate lungo la fascia perifluviale del Tevere in modo da escludere le aree nuvolose e le rispettive ombre. Successivamente sono stati calcolati gli istogrammi relativi alle due immagini che vengono confrontati in Figura 7a. Si evince chiaramente che per l’immagine del 28 Novembre si ha una diminuzione dell’indice NDVI, dovuta ad un aumento di riflettanza nella banda 1 (rosso), che assume valori anche inferiori a 0.15. Confrontando il valore dell’indice NDVI relativo a ciascun pixel delle due immagini (si veda Figura 7b) si osserva che la soglia di 0.15 sembra appropriata per caratterizzare il cambiamento che avviene tra il 20 e il 28 Novembre 2005, legato principalmente alle aree inondate. In particolare, i valori negativi sono quelli caratterizzati dalla presenza di acqua torbida (si veda anche Figura 6) in quanto l’analisi della firma spettrale di quest’ultima (Figura 5) indica valori non nulli solo per la banda 1 (rosso, 0.62 μm) e, quindi, l’indice NDVI risulta negativo. I valori compresi tra 0 e 0.15 dovrebbero rappresentare i pixel caratterizzati contemporaneamente da acqua e suolo molto umido e quindi rappresentativi anch’essi delle aree allagate.

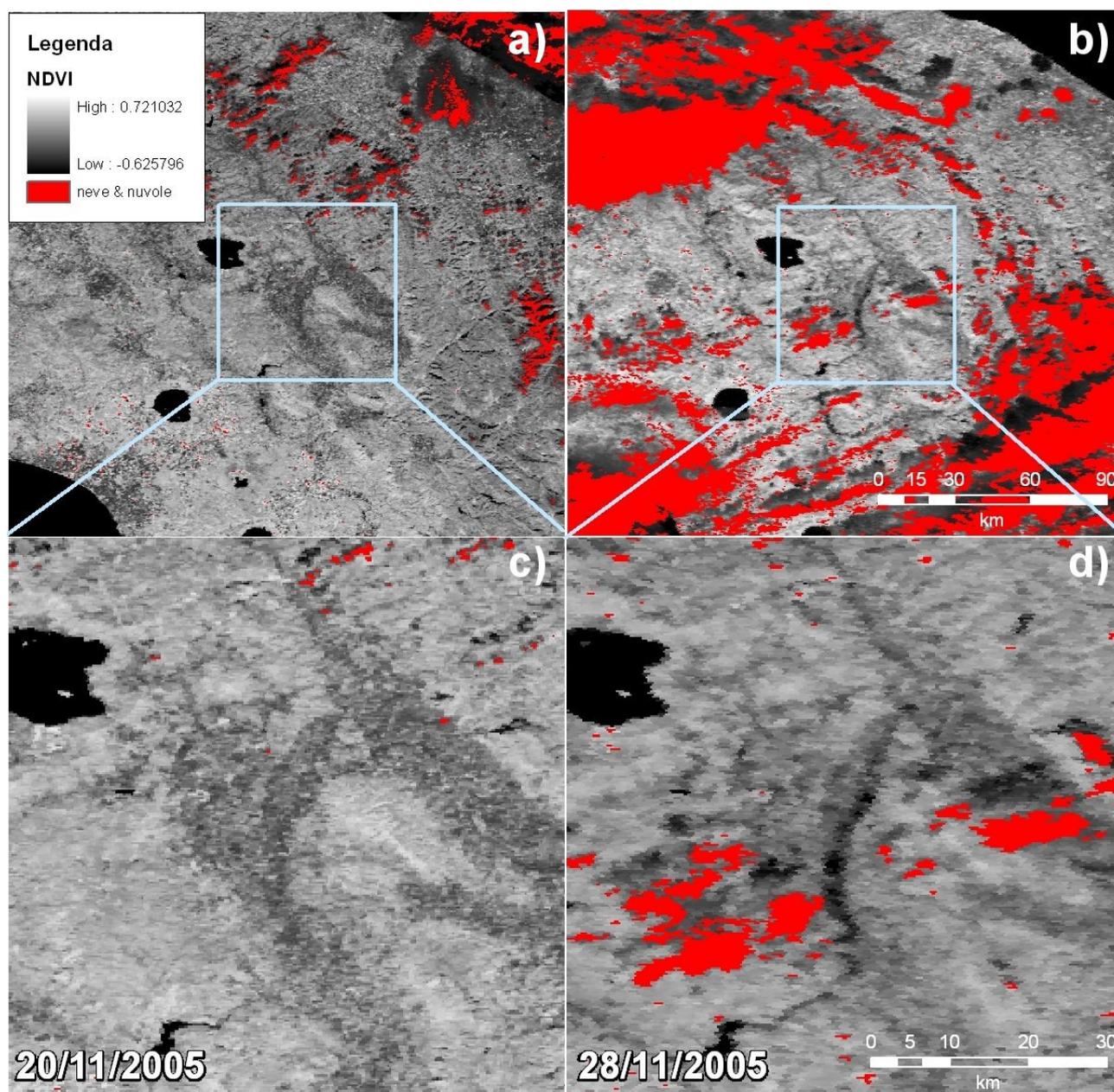


Figura 6 – Indice NDVI ricavato dalle immagini MODIS-TERRA del 20 e 28 Novembre 2005. In c) e d) è riportato un ingrandimento dell'area tra il lago di Corbara e Umbertide.

Considerando quindi i valori inferiori a 0.15, la Figura 8 riporta le aree supposte allagate attraverso la metodologia descritta in precedenza. Come si può vedere, mentre nell'immagine del 28 Novembre è presente un'area allagata in prossimità del Fiume Tevere, l'immagine del 20 Novembre risulta quasi completamente libera. Come ulteriore verifica della bontà della procedura, sono state confrontate le aree allagate derivate dall'immagine MODIS-TERRA e le aree allagate ricavate dal volo della Protezione Civile, disponibili per il Tevere a valle dell'abitato di Deruta (Figura 9) ed effettuate anch'esse il 28 Novembre di mattina. Si osserva ancora un'ottima corrispondenza tra le aree allagate osservate e quelle stimate da MODIS confermando la possibilità di utilizzare l'informazione da satellite come supporto alla perimetrazione delle aree allagate anche per l'Alto Tevere.

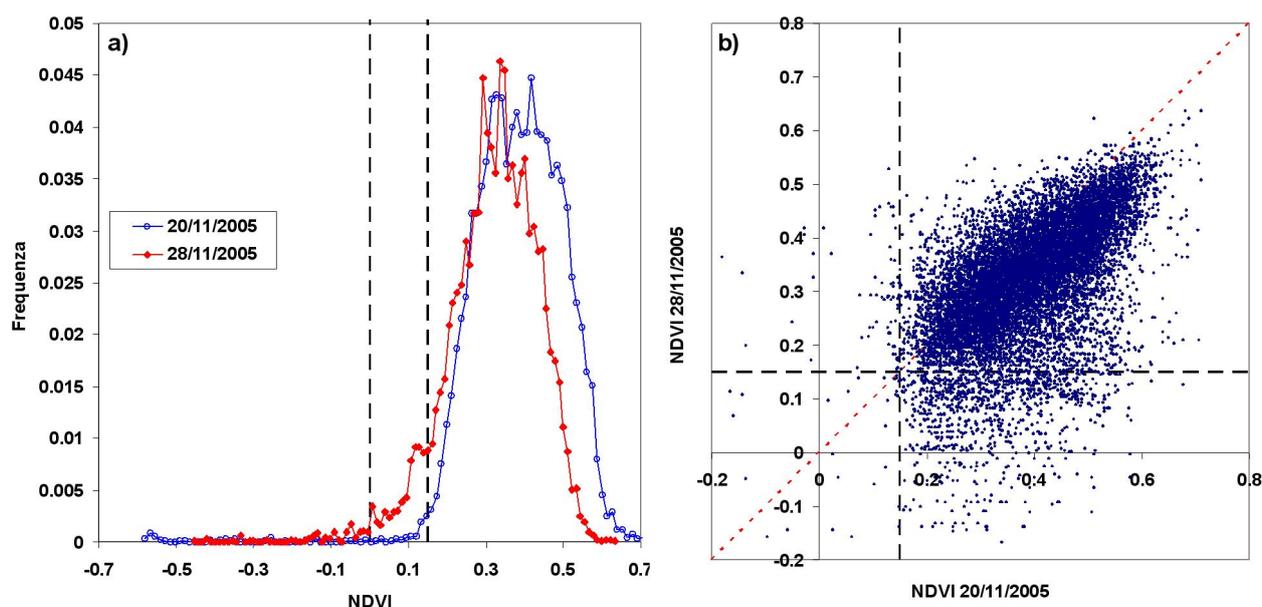


Figura 7 – a) Istogramma dell'indice NDVI per le due immagini MODIS-TERRA del 20 e 28 Novembre 2005 e b) confronto tra le due immagini pixel a pixel. Le immagini sono state ritagliate alla zona perifluviale del Fiume Tevere per eliminare il problema legato alla copertura nuvolosa.

Come già precedentemente evidenziato, l'immagine MODIS è relativa al giorno in cui la piena ha manifestato il suo colmo nella parte bassa del Tevere (Barbetta et al., 2007), mentre per l'Alto Tevere l'onda di piena durante la giornata del 28 Novembre era pressoché esaurita. Di conseguenza, per l'Alto Tevere ci si aspetta che le aree allagate individuate dall'immagine MODIS risultino sottostimate. Pertanto, sono state individuate 6 classi di probabilità con valori decrescenti dell'indice NDVI (si veda la Figura 9 e la Figura 10) in modo tale da considerare anche le aree caratterizzate da un terreno estremamente bagnato. Analizzando la Figura 10, relativa alla zona di Ponte Pattoli, si osserva che le aree allagate stimate da MODIS-TERRA sottostimano quelle individuate dalle osservazioni dirette (sopralluoghi dei tecnici della Provincia di Perugia e documentazione fotografica) individuando tuttavia le aree più consistenti. Inoltre, non vengono segnalate come allagate aree non allagate (falsi positivi) che denota la robustezza dell'indice utilizzato.

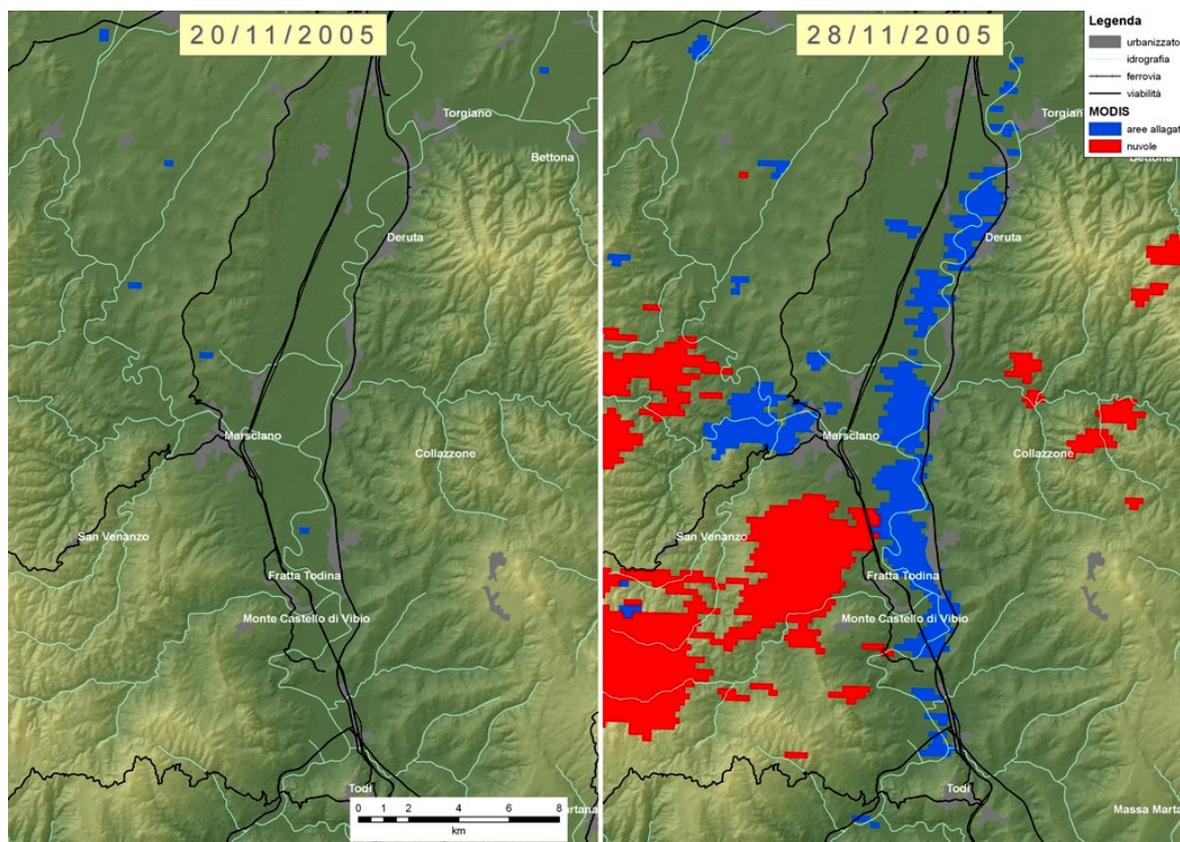


Figura 8 – Aree allagate determinate dall'indice NDVI con un valore di soglia inferiore a 0.15 per i giorni 20 e 28 Novembre 2005.

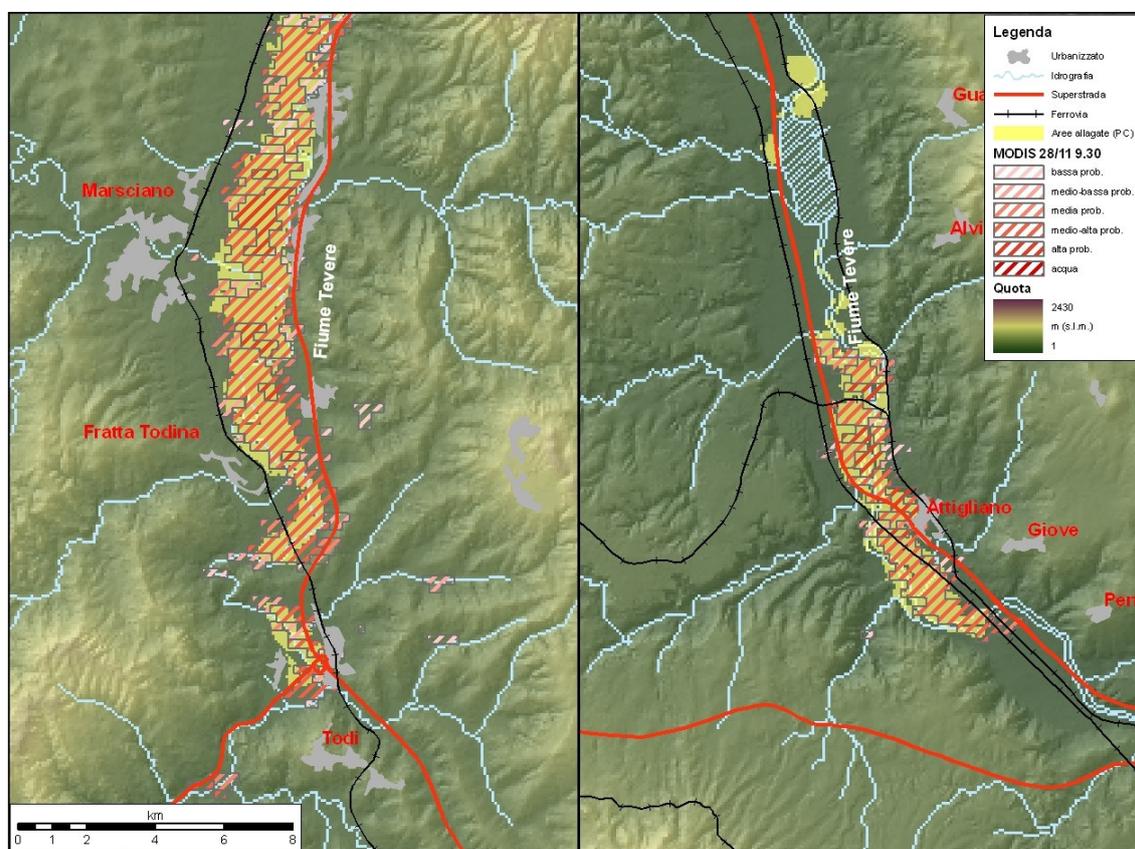


Figura 9 – Confronto tra le aree allagate determinate dall'immagine MODIS-TERRA e quelle individuate dal volo effettuato dalla Protezione Civile.

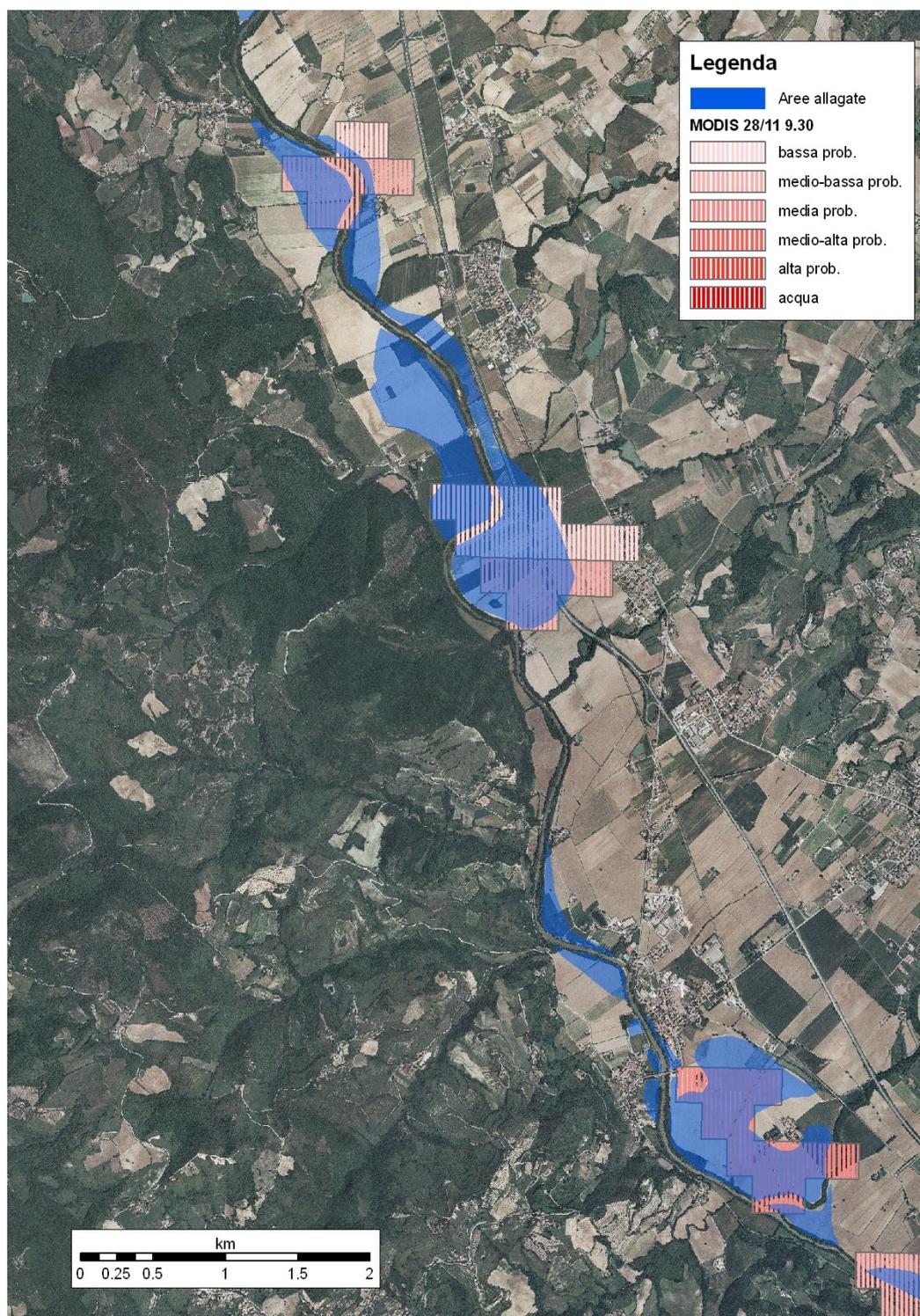


Figura 10 – Confronto tra le aree allagate determinate dall'immagine MODIS-TERRA e quelle ricavate dai sopralluoghi della Provincia e dalle foto per l'Alto Tevere nei dintorni di Ponte Pattoli, frazione del comune di Perugia.

4. FASE RESTITUTIVA

Il risultato dell'analisi effettuata sull'insieme di informazioni raccolte è stato restituito in formato digitale su Cartografia IGM, scala 1:25000. Inizialmente, le aree inondate sono state

georeferenziate in coordinate UTM33-WGS84 e classificate in funzione della fonte di origine dell'informazione. In particolare, sono state individuate 5 diverse fonti:

1. Dipartimento della Protezione Civile (DPC)
2. Vigili del Fuoco di Perugia (VVFF)
3. Provincia di Perugia (PrPG)
4. IRPI-CNR
5. Satelliti RADARSAT-1 e MODIS

4.1. Rilevamento Aerofotogrammetrico del Dipartimento della Protezione Civile (DPC)

Il giorno 28 Novembre il DPC ha effettuato un volo aereo che ha interessato la fascia del Fiume Tevere a partire dal Comune di Magliano Sabina (Rieti) fino al Comune di Marsciano seguendo il percorso dell'asta principale. Per maggiori dettagli si rimanda al rapporto d'evento del DPC (2005). In Allegato I viene riportata l'area allagata per la fascia fluviale oggetto del presente studio, così come restituita dal rilevamento aerofotogrammetrico. In particolare, si nota come nella zona di Ponte Rio (comune di Todi) l'inondazione ha interessato in destra idrografica la Piana di San Martino, mentre, in sinistra, si osserva un'area allagata che si estende fino alla frazione Pian di Porto. Inoltre, sempre in sinistra aree parzialmente allagate lambiscono la Strada Statale 3 bis (E45). Spostandosi verso nord, l'ansa del Fiume Tevere in località Bocca Faena risulta allagata principalmente in destra idrografica per un'estensione media di circa 500 metri. In sinistra, la zona inondata interessa la località La Barca e arriva a lambire, nella parte alta, la Strada Provinciale 383. Sono ben visibili le aree parzialmente allagate che si estendono fino al Ponte di Baccarello, nell'omonima località, e che in sinistra idrografica sono in parte limitate dalla Strada Statale 3 bis. Il parziale allagamento dovuto probabilmente al ritiro delle acque anche per effetto dei canali di scolo, ha un'ampiezza che in alcuni tratti, in destra idrografica, raggiunge 2 km.

Analizzando l'area della periferia di Collepepe si nota come la fascia perifluviale in destra idrografica del Fiume Tevere è interessata da un allagamento che si estende per un'area di circa 5 km² e che arriva a minacciare da vicino alcune abitazioni in località Cerro. Spostandosi verso Deruta, fino a 2 km a nord della località di Casalina che rappresenta il limite dell'area sorvolata, si nota un'alternanza di aree allagate e parzialmente allagate che hanno interessato maggiormente la fascia golenale destra del Fiume Tevere.

4.2. Restituzione Digitale Volo Vigili del Fuoco di Perugia (VVFF)

In data 27 Novembre 2005 i VVFF di Perugia hanno effettuato una ripresa da elicottero lungo la fascia fluviale del Fiume Tevere che si estende dal Comune di Deruta fino a quello di Ponte Felcino coprendo un'area complessiva di circa 20 km². Dall'analisi delle immagini è stata georeferenzata l'area allagata distinguendo le zone completamente allagate da quelle parzialmente allagate, intendendo per queste ultime le zone con presenza d'acqua in maniera non omogenea.

L'asta del Fiume Tevere interessata dal volo ha una lunghezza di circa 25 km e include la confluenza con il Fiume Chiascio a monte della sezione idrometrica di Ponte Nuovo. Va evidenziato che per le modalità di ripresa non è stato possibile garantire l'acquisizione completa dell'area allagata sull'intera asta fluviale. La restituzione del volo è riportata in Allegato I dove si può vedere che le esondazioni hanno interessato l'intera asta fluviale sorvolata, sia in sinistra che in destra idrografica. A partire dal Comune di Deruta si nota come l'acqua esondata ha lambito in sinistra la zona industriale interessando alcune case e/o capannoni, nonché la Strada Provinciale 377. In destra idrografica l'acqua ha raggiunto la località C.se Ranieri, inondando terreni e lambendo alcune abitazioni. Proseguendo verso monte, la fascia interessata dal meandro è stata inondata sia in destra, fino a raggiungere nella parte alta la Strada del Venturello, che in sinistra allagando i campi per un'estensione massima di circa 1 km in località la Torre. Nel tratto fluviale a monte di Ponte Nuovo è evidente l'allagamento in destra idrografica dovuto anche ad una rotta arginale avvenuta a monte della confluenza con il Fiume Chiascio. L'acqua esondata ha interessato aree coltivate fino a lambire la Strada Provinciale 375 e la Via Tiberina. In località Torgiano, l'ansa del Tevere è stata inondata in sinistra idrografica fino alla Strada Provinciale 403. Spostandosi più a nord, estesi allagamenti hanno interessato principalmente la fascia destra in località Casa Bianca dove sono ubicati alcuni laghetti irrigui. Muovendo verso l'ansa degli Ornari, si localizzano esondazioni sia in destra, internamente all'ansa, che in sinistra fino a lambire sia l'argine delimitante la fascia golenale che la Strada Provinciale Ponte Valleceppi-Sant'Egidio. L'esondazione ha interessato in sinistra alcune aree in località Ponte Valleceppi.

4.3. Rilievi fotografici e Sopralluoghi della Provincia di Perugia (PrPG)

I tecnici della Provincia di Perugia insieme ai sorveglianti idraulici hanno effettuato in corso d'evento alcuni sopralluoghi lungo l'asta principale, a partire dal Comune di Deruta fino a Città di Castello, con l'obiettivo di delineare i tratti fluviali maggiormente vulnerati dalla piena. In particolare, nei giorni 26, 27 e 28 Novembre oltre al controllo dei siti è stato eseguito dal personale della Provincia di Perugia un numero consistente di foto che ha consentito di acquisire una documentazione fotografica utile per integrare le informazioni derivanti dalla restituzione del volo dei VVFF. In Allegato I sono riportate le aree inondate così come dedotte sia dai sopralluoghi che dalle foto disponibili, queste ultime georeferenziate, ovviamente in maniera indicativa (si veda Tabella 1). Va precisato che per ragioni di semplicità di rappresentazione in Allegato I vengono mostrate solo le aree derivate dalle informazioni fornite dalla Provincia di Perugia e non già individuate dal volo dei VVFF.

In località Palazzetta, nel territorio di Deruta, si evidenzia un'area allagata in sinistra idrografica che va ad integrare quella rilevata dal volo dei VVFF. Si evince come l'allagamento interessa anche la Via del Mosaico fino a lambire il Viale dell'Industria. Subito a monte, è stata confermata l'inondazione stimata dal volo dei VVFF in sinistra idrografica evidenziando che essa fu dovuta, molto probabilmente, al rigurgito dei fossi presenti. Spostandosi più a nord, a monte della confluenza con il Fiume Chiascio, per la presenza di un sottopasso lungo la Strada Statale 3 bis, si è verificata un'inondazione indiretta in destra idrografica, in prossimità della località Casaccia. Continuando lungo l'asta principale, in sinistra idrografica, per il rigurgito di un fosso è stata inondata una fascia limitata in località Le Caselle, zona Ferriera. I sopralluoghi eseguiti nella

zona dell'ansa degli Ornari hanno confermato l'estensione dell'area allagata così come restituita dal volo dei VVFF. Limitati allagamenti sono stati individuati più a monte fino al centro abitato di Ponte Pattoli. Percorrendo il corso principale del Tevere verso nord, è stata individuata una modesta area allagata che in sinistra idrografica si estende da Ponte della Resina fino al Rio San Bartolomeo ed è delimitata dalla linea ferroviaria, mentre in destra interessa le località Fattoria Bagnara e Podere La Fonte. Altri allagamenti sono stati individuati lungo la fascia fluviale in località Pierantonio, dove le acque esondate hanno interessato principalmente aree destinate ad uso agricolo.

Alcune rotte arginali sono state la causa dei fenomeni di esondazione avvenuti in destra idrografica lungo il tratto in corrispondenza della confluenza con il Torrente Nese. Spostandosi più a monte, il tratto fluviale compreso tra la confluenza del Fiume Tevere con i Torrenti Carpina e Niccone è stato interessato da una rotta arginale che ha prodotto un'inondazione di limitata estensione. Inondazioni di modeste dimensioni hanno poi interessato la fascia fluviale più a monte fino all'area urbanizzata di Trestina, dove in prossimità della confluenza con il Torrente Nestore si è verificato un allagamento prodotto da una rotta arginale avvenuta lungo l'asta dello stesso torrente. Estensione dell'inondazione ben più ampia è quella che ha interessato la fascia del Tevere a monte della confluenza con il Torrente Aggia. Dai rilievi effettuati risulta che in questo caso l'area allagata si è estesa dalla località San Secondo, sia in destra che in sinistra, fino alla zona di Santa Lucia e più a nord le acque hanno invaso solamente l'area perifluviale in sinistra idrografica. Infine, altre inondazioni di limitata estensione sono state individuate nelle anse fluviali fino a Città di Castello.

4.4. Rilievi IRPI-CNR

Sulla base del volo effettuato dai VVFF e della documentazione fotografica prodotta dagli operatori della Provincia di Perugia, l'IRPI-CNR ha eseguito alcuni sopralluoghi ad integrazione delle informazioni innanzi riportate. A partire dall'asta principale del Fiume Tevere nel territorio di Deruta fino a quello in prossimità del centro abitato di Città di Castello, è stata individuata con sufficiente accuratezza l'estensione della fascia inondata durante l'evento di piena del Novembre 2005 basandosi sia su interviste dirette che sull'analisi delle foto prodotte dalla Provincia di Perugia. Con l'ausilio di un modello digitale del terreno 2mx2m è stato possibile definire con maggior dettaglio le aree allagate. In particolare, in Allegato I vengono mostrate le aree inondate che vanno ad integrare quelle precedentemente delimitate. Per la zona coperta dal volo dei VVFF, l'area individuata dal suddetto volo non è risultata sostanzialmente differente da quella stimata dai sopralluoghi effettuati dai tecnici della Provincia di Perugia, ad eccezione di alcuni tratti fluviali lungo i quali l'informazione acquisita è risultata di maggior dettaglio. In particolare, è risultato che in destra idrografica subito a valle di Ponte Nuovo il livello del Tevere ha superato le sommità spondali producendo fenomeni di allagamento che hanno interessato la Contrada Bargella. Inoltre, l'estensione dell'area allagata sempre in destra idrografica ma in prossimità della confluenza con il Fiume Chiascio è risultata leggermente più estesa interessando alcuni fabbricati situati tra Via Capitini e Via del Piano, subito a monte della località Fornaci. Utilizzando la documentazione fotografica della Provincia di Perugia, è stato possibile integrare lo scenario dell'inondazione in corrispondenza dell'ansa degli Ornari, così come quello in sinistra idrografica in prossimità della zona industriale di Ponte Felcino. L'ausilio delle foto ha anche consentito di delimitare l'area allagata in sinistra in località Ponte Pattoli, così come lungo il tratto del Tevere in prossimità di

Parlesca. Spostandosi verso monte, fino alla zona di Umbertide, sono stati così individuati ulteriori allagamenti tra i quali degno di nota è quello che ha interessato le aree perifluviali in località La Bruna, sia in destra che in sinistra idrografica, il quale è stato anche causato dal fenomeno di rigurgito dell'omonimo ponte che durante l'evento di piena è risultato essere in pressione.

4.5. Analisi Immagini RADARSAT-1 e MODIS

In Allegato II viene mostrata la restituzione dell'elaborazione delle immagini satellitari acquisite dal sensore attivo RADARSAT e dal multispettrale MODIS. Per quanto concerne le immagini MODIS, va evidenziato che queste avendo una risoluzione spaziale 250m x 250m potrebbero essere non rappresentative dell'effettiva area inondata. Anche le immagini del satellite RADARSAT-1, pur avendo un'elevata risoluzione (12m x 12m), risultano estremamente sensibili alla definizione della soglia dell'algoritmo innanzi presentato e, pertanto, potrebbero portare ad individuare "false" aree allagate e zone umide. Per tale ragione, le aree inondate dedotte da satellite sono state confrontate con quelle ottenute dalle altre fonti e riportate in Allegato I. Sulla base di tale confronto, si può notare come MODIS sia in grado di fornire uno scenario di inondazione compatibile con quello ottenuto dai precedenti rilievi. In particolare, è ben evidente come l'esonazione occorsa lungo il tratto del Fiume Tevere compreso tra Deruta e la zona a monte della confluenza con il Fiume Chiascio sia coerente con i risultati mostrati in Allegato I, fatta eccezione per la "falsa" inondazione dell'abitato di Deruta. Lo stesso non può dirsi per RADARSAT-1 che fornisce uno scenario a macchia di leopardo. Tuttavia, tale fenomeno è dovuto al fatto che l'immagine è relativa alla giornata del 29 Novembre, quando la piena era già in fase di recessione e quindi lo scenario delineato dall'individuazione delle zone umide può considerarsi rappresentativo di quello che può essersi verificato nei giorni precedenti il 29 Novembre. Comunque, nelle fasce più contigue al tratto fluviale si notano delle aree allagate di limitata estensione che risultano in accordo con quelle individuate da MODIS. È il caso del meandro del Tevere in prossimità di Deruta e di quello dell'ansa degli Ornari. È interessante osservare come MODIS ha consentito di individuare l'esonazione in località Caselle, a valle della Ferriera, dovuta al rigurgito del fosso che si immette direttamente nel Fiume Tevere. Spostandosi più a monte, MODIS e RADARSAT-1 risultano in buon accordo con le aree allagate mostrate nell'Allegato I. In particolare, si nota come a valle di Ponte Pattoli l'area inondata è anche dovuta al rigurgito del Torrente Ventia, come ben visibile dalle "macchie" evidenziate da RADARSAT-1 alla confluenza del suddetto torrente con il Fiume Tevere. Inoltre, RADARSAT-1 ha consentito di ampliare l'estensione dell'area inondata in destra idrografica in località La Casella, in prossimità della confluenza del Fosso della Parlesca ubicata in sponda sinistra. Considerando il tratto fluviale a monte della località La Bruna, in sinistra idrografica entrambi i satelliti hanno rilevato un'area inondata in Contrada Palombaiolo che tuttavia può essere inficiata dalla presenza di laghetti. Spostandosi a monte di Umbertide, la sovrapposizione di MODIS e RADARSAT fa presupporre locali allagamenti in sinistra idrografica nei pressi della località "Petrelle Sotto" ed in destra alla confluenza del Torrente Niccone. Risalendo fino a Trestina, si individuano aree inondate in corrispondenza della confluenza del Fiume Tevere con il Torrente Nestore prodotte, come già detto, da una rotta arginale occorsa lungo l'asta del torrente, nonché allagamenti in sinistra idrografica che interessano la Via dell'Industria.

Spostandosi ancora più a nord, oltre la confluenza con il Torrente Aggia si individuano locali allagamenti lungo l'asta principale, fino all'area di Città di Castello.

Va evidenziato che per quanto concerne le acquisizioni di MODIS, queste fanno riferimento al 28 Novembre 2005 ore 10.45, quando la piena, lungo la parte più alta dell'asta del Tevere, era già in fase di recessione, come deducibile dalle osservazioni idrometriche alla stazione strumentata di Santa Lucia. Ciò comporta che alcune aree allagate non erano direttamente "visibili" da MODIS, se non in termini di media-alta probabilità di allagamento, come già evidenziato nel paragrafo 3.2. Ritenendo opportuno far riferimento al dato certo di allagamento, sono state escluse dalla perimetrazione, mostrata in Allegato III, quelle zone caratterizzate da una bassa probabilità di inondazione.

4.6. Confronto Aree Inondate Evento e Fascia A del PAI

A partire dalla stazione idrometrica di Ponte Rio (Monte Molino) e fino al tratto fluviale del Tevere in prossimità dell'abitato di Città di Castello è stato effettuato il confronto tra le aree allagate individuate dall'integrazione delle analisi effettuate sulle informazioni acquisite e la Fascia A delimitata dal PAI. Da una visione globale delle due perimetrazioni (si veda Allegato III), si può notare come le aree inondate dell'evento del Novembre 2005 risultano generalmente contenute nella Fascia A che, come noto, è relativa all'area inondabile diretta associata ad un tempo di ritorno pari a 50 anni. Una soddisfacente corrispondenza tra le due aree è riscontrabile lungo l'asta principale del Fiume Tevere a partire dall'idrometro di Ponte Rio fino ad alcuni chilometri a monte della confluenza con il Fiume Chiascio. In tale tratto fluviale, alcune differenze sono riscontrabili solo in località Casalina e in prossimità di Ponte Nuovo, a valle della Superstrada E45. Va evidenziato che quest'ultima area inondata, stando ai sopralluoghi effettuati dai tecnici della Provincia di Perugia, è molto probabilmente dovuta al rigurgito dei fossi presenti. Al contrario, una sostanziale differenza si nota lungo il tratto fluviale compreso tra S. Caterina, in località Miralduolo, e la Ferriera. A partire dall'ansa degli Ornari arrivando fino ad Umbertide, le aree inondate sono tra loro abbastanza congruenti. Spostandosi ancora verso nord, alcune differenze sono riscontrabili anche a causa di alcuni fenomeni di rotta arginale che hanno prodotto l'inondazione di aree perfluviali. Nell'insieme, anche nella parte alta del Tevere fino a Città di Castello, va evidenziata una buona corrispondenza tra le inondazioni avvenute durante l'evento di piena del Novembre 2005 e la Fascia A.

5. CONCLUSIONI

L'analisi e l'integrazione delle informazioni fornite dai vari Enti predisposti al controllo e al monitoraggio del territorio ha consentito di delineare lungo l'asta principale del Tevere l'estensione dell'inondazione causata dall'evento di piena del 25-28 Novembre 2005, a partire dal sito idrometrico di Ponte Rio (Monte Molino) fino alla fascia nel comune di Città di Castello. L'utilizzo delle immagini satellitari, se pur non congruenti temporalmente all'evento, ha consentito di superare le incertezze legate all'estensione del fenomeno, delineando così le fasce allagate in siti dove l'informazione era approssimativa o del tutto mancante. Il confronto delle aree inondate con la fascia A del PAI ha mostrato per quest'ultima un buon accordo, principalmente per il tratto fluviale

del Tevere tra Ponte Rio e Deruta. Per la parte più a nord, alcune sostanziali differenze sono riscontrabili nelle aree soggette a rotte arginali e/o rigurgito dei fossi affluenti al Tevere.

6. RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Servizio Difesa Gestione Idraulica della Provincia di Perugia per la collaborazione fornita nella stesura del lavoro.

7. BIBLIOGRAFIA

Aiazzi B., Alparone L., Baronti S., Moramarco T., Pandolfo C., Stelluti M., 2007. *An information-theoretic feature for identifying changes in multitemporal SAR images: an evaluation for the detection of flooded areas*, Proc. SPIE Remote Sensing Europe 2007, SAR Image Analysis, Modeling and Techniques XII, Florence, Italy, 17-21 Sep. 2007, SPIE Vol. 6746, F. Posa (Ed.), in stampa.

Barbetta S., Brocca L., Melone F., Moramarco T., 2007. *Evento idro-pluviometrico del 25-28 Novembre 2005 sul bacino dell'Alto-Medio Tevere*. Rapporto tecnico Convenzione CNR-Autorità di Bacino del Fiume Tevere "Supporto tecnico scientifico per attività connessa al rischio idraulico nel territorio della Regione Umbria ai fini anche della redazione di cartografia delle aree inondate dall'evento alluvionale del novembre-dicembre 2005".

Dipartimento Protezione Civile (DPC), Ufficio Pianificazione Valutazione e Prevenzione dei Rischi, Servizio Rischio Idrogeologico ed Idrico, Centro Funzionale Centrale, 2005. *Rapporto d'evento – rilevamento fotogrammetrico dell'asta del Tevere durante l'evento di piena del 28 novembre 2005*.

Jain S.K., Saraf A.K., Goswami A., Ahmad T., 2006. *Flood inundation mapping using NOAA AVHRR data*. Water Resources Management, 20, 949-959.

Jain S.K., Singh R.D., Jain M.K., Lohani A.K., 2005. *Delineation of flood prone areas using remote sensing technique*. Water Resources Management, 19, 337-347.

Zhan X., Sohlberg R.A., Townshend J.R.G., DiMiceli C., Carroll M.L., Eastman J.C., Hansen M.C., DeFries R.S., 2002. *Detection of land cover change using MODIS 250 m data*. Remote Sensing of Environment, 83, 336-350.

Tabella 1 – Elenco delle foto effettuate nei giorni 26, 27 e 28 Novembre dai tecnici della Provincia di Perugia. Per ciascuna foto è indicato il codice identificativo, ID, il sito interessato, le coordinate UTM33-WGS84, la data di esecuzione, il numero di foto acquisite e la descrizione dell'area raffigurata.

ID	SITO	X	Y	DATA	NUM_FOTO	COMMENTO
1	Umbertide	282734.39	4798422.32	27/11/2005	1	Umbertide_sx idraulica_campo gara pesca
2	Umbertide	283091.58	4798230.49	27/11/2005	3	Umbertide_Ponte di Umbertide (statale)
3	Umbertide	282687.26	4797675.69	27/11/2005	2	Umbertide_Vista dall'alto_Loc. Palazzetto_dx
4	Umbertide	283173.43	4797080.38	27/11/2005	1	Umbertide_A monte centrale idroelettrica (Mola Casanuova)_S.P. 170 in dx i
5	Umbertide	285383.36	4796211.74	27/11/2005	1	Umbertide_Loc. Badia Montecorona ponte_Lato Valle
6	Pierantonio	287488.42	4792997.69	27/11/2005	3	Pierantonio_Ponte_S.P. 169 del Pantano
7	Pierantonio	287821.84	4792271.24	28/11/2005	1	Loc. Ascagnano tra Pierantonio_La Bruna_dx idraulica
8	Pierantonio	288258.40	4790697.62	28/11/2005	1	Loc. La Casella (La Bruna)
9	La Bruna	288000.43	4790335.48	28/11/2005	1	Loc. Castello (La Bruna)_dx
10	La Bruna	288138.64	4789548.10	28/11/2005	2	Loc. La Bruna_Centro abitato_dx idraulica
11	La Bruna	289694.60	4787578.68	28/11/2005	2	Loc. La Bruna_Ponte di Bagnara_dx idraulica
12	La Bruna	290220.46	4787529.07	28/11/2005	1	Loc. La Bruna_Sottopassaggio ferroviaria_sx idraulica
13	La Bruna	289755.26	4787916.84	27/11/2005	5	Loc. La Bruna_Vista dalla S.S. E/45
14	Ponte Pattoli	290655.80	4782710.23	27/11/2005	1	Loc. Ponte Pattoli_Panoramica dalla dx
15	Ponte Pattoli	290815.77	4783875.33	28/11/2005	3	Loc. Ponte Pattoli (S. Maria)_sx idraulica
16	Ponte Pattoli	290381.87	4784241.84	28/11/2005	4	Loc. Ponte Pattoli (Taticchi il Covone)_sx idraulica
17	Ponte Pattoli	290969.56	4783365.34	28/11/2005	1	Loc. Ponte Pattoli_lato opposto al campo sportivo- sx idraulica
18	Ponte Pattoli	291039.01	4783266.13	28/11/2005	1	Loc. Ponte Pattoli_strada parallela al percorso verde- sx idraulica
19	Ponte Pattoli	290875.30	4783231.40	27/11/2005	1	Loc. Ponte Pattoli_vista_monte del ponte_dx idraulica
20	Ponte Pattoli	291103.51	4783112.34	28/11/2005	6	Loc. Ponte Pattoli_Tratto in sx vicino_ponte
21	Ponte Pattoli	291029.09	4783072.65	28/11/2005	3	Loc. Ponte Pattoli_Vista dal ponte tratto_monte sx_dx
22	Ponte Pattoli	290478.43	4783062.73	27/11/2005	2	Loc. Ponte Pattoli_monte del ponte_strada per Cordigliano
23	Ponte Pattoli	291034.05	4783067.69	26/11/2005	2	Loc. Ponte Pattoli_Vista dal ponte verso valle
24	Ponte Pattoli	291103.51	4782998.23	28/11/2005	2	Loc. Ponte Pattoli_Vista dal ponte verso valle
25	Ponte Pattoli	290661.98	4782650.97	27/11/2005	2	Perugia_Loc. Ponte Pattoli_Panoramica
26	Ponte Pattoli	290820.17	4783773.57	28/11/2005	2	Loc. Ponte Pattoli_S. Maria_cabina ENEL_sx idraulica
27	Ponte Felcino	292026.71	4778828.09	28/11/2005	2	Loc. Ponte Felcino_monte del ponte_dx idraulica
28	Ponte Felcino	291975.55	4778776.93	28/11/2005	2	Loc. Ponte Felcino_valle del ponte_dx idraulica
29	Ponte Felcino	291352.33	4778260.68	28/11/2005	2	Loc. Ponte Felcino_Stabilimento Calzoni_dx_ponte sens. RU_Monte
30	Ponte Felcino	291347.68	4778102.55	28/11/2005	1	Loc. Ponte Felcino_Vista dal ponte di Ponte Rio_S.P. 174_ponte sens. RU_

Continua Tabella 1

31	Ponte Valleceppi	291924.39	4776670.08	27/11/2005	1	Loc. Ponte Valleceppi_Campo sportivo Pretola_dx
32	Ponte Valleceppi	292007.02	4776510.73	27/11/2005	2	Loc. Ponte Valleceppi_Passerella Percorso Verde_dx
33	Ponte Valleceppi	292124.38	4776079.42	28/11/2005	1	Loc. Ponte Valleceppi_Ponte_Lato Monte_sx
34	Ponte Valleceppi	292110.42	4776014.31	27/11/2005	1	Loc. Ponte Valleceppi_Dal ponte verso monte
35	Ponte Valleceppi	292170.13	4776021.46	28/11/2005	5	Loc. Ponte Valleceppi_Dentro al paese
36	Ponte Valleceppi	292194.55	4776083.32	28/11/2005	1	Loc. Ponte Valleceppi_Dal ponte verso valle_sx
37	Ponte Valleceppi	292192.92	4775944.12	28/11/2005	1	Loc. Ponte Valleceppi_Dal ponte verso valle_dx
38	Ponte Valleceppi	292321.54	4775693.88	28/11/2005	1	Loc. Ponte Valleceppi_Distilleria
39	Umbertide	283464.78	4797061.46	27/11/2005	2	Loc. Umbertide_Centrale Idroelettrica (Mola Casanova)
40	Umbertide	282882.77	4797827.73	27/11/2005	2	Umbertide_Tratto tra ferrovia_centrale idroelettrica_dx idraulica_S.P.
42	Pierantonio	287965.42	4793224.61	27/11/2005	1	Pierantonio_zona industriale_foto nei pressi svincolo superstrada_sx
43	Ponte Pattoli	292299.98	4781640.60	28/11/2005	1	Loc. Spinello_Vista campi Ramazzano_dx idraulica
44	Ponte Valleceppi	291988.56	4776418.06	27/11/2005	1	Loc. Ponte Valleceppi_ingresso percorso verde_sponda sx
45	La Bruna	287269.98	4789926.96	28/11/2005	1	Loc. La Bruna_Stazione monitoraggio ambientale