

6. L'applicazione e la validazione del modello

6.1. Introduzione

Il verificarsi dell'evento del 1 marzo 2011 e il buon numero di dati a disposizione per tale evento quali le misure di pioggia, le immagini satellitari e le foto aeree fornite dall'Ufficio Protezione Civile della Regione Basilicata, i report dei sopralluoghi effettuati dai tecnici dell'Autorità Interregionale di Bacino della Basilicata ed i sopralluoghi effettuati in prima persona all'indomani dell'evento alluvionale (figura 6-1), hanno permesso una prima validazione del modello FLORA-2D.

I dati di pioggia, come descritto nel precedente capitolo, hanno permesso la ricostruzione dell'evento dal punto di vista idrologico e la definizione dell'idrogramma da utilizzare come condizione al contorno di monte del modello.

Le immagini satellitari, le foto aeree e quelle scattate durante i sopralluoghi sono servite innanzitutto ad individuare le rotture arginali da tenere in conto in fase di costruzione del dominio di calcolo e poi a perimetrare le aree realmente allagate da confrontare con quelle calcolate dal modello.



Figura 6.1. Evento del 1 marzo 2011: immagine satellitare (in alto a sinistra), foto scattata durante i sopralluoghi (in alto a destra), foto aerea (in basso a sinistra) e scheda di report ADB Basilicata (in basso a destra).

6.2. Dominio di calcolo

Il dominio di calcolo è stato schematizzato, partendo dal già citato rilievo laser-scan, mediante una griglia a maglie quadrate di risoluzione pari a 10 m.

La perdita del dettaglio altimetrico che accompagna la trasformazione del DTM in grid dipende fortemente dalla dimensione della cella della griglia.

Poiché all'aumentare della risoluzione aumentano anche i tempi di simulazione, si è ritenuto opportuno garantire un elevato dettaglio altimetrico degli elementi che possono influenzare il deflusso delle acque (rilevati arginali o stradali,..) mediante operazioni di manipolazione dei dati altimetrici piuttosto che con un'eccessiva riduzione

della dimensione della cella di calcolo. Questo per garantire tempi di simulazione ragionevoli (Giosa 2007, Sole et al., 2008).

Le correzioni sono state articolate secondo le seguenti fasi:

- a) individuazione del dominio di calcolo grezzo caratteristico dell'area di studio;
- b) individuazione degli elementi del floodplain di maggiore influenza sul processo di propagazione della piena e loro caratterizzazione altimetrica;
- c) costruzione del dominio di calcolo modificato sulla scorta delle informazioni ottenute al punto precedente.

Preliminarmente si è provveduto alla costruzione di una griglia di risoluzione pari a 10 m relativa all'area di studio ottenuta dal MKP senza operare alcuna manipolazione e, pertanto, definita grezza.

Successivamente sono stati scelti come elementi significativi il rilevato ferroviario della linea Taranto - Reggio Calabria, il rilevato stradale della S.S. 106 Jonica, gli argini, le strade arginali ed, infine, gli edifici.

La caratterizzazione altimetrica degli elementi significativi è stata realizzata in ambiente GIS costruendo una specifica griglia degli elementi significativi di risoluzione pari a quella della griglia grezza (10 m). Tale griglia, nello specifico, è il risultato di una operazione di merge tra quella degli elementi lineari significativi (rilevati ferroviario, stradale e arginale) e quella degli elementi poligonali significativi (edifici singoli e/o nuclei insediativi). Nella griglia degli elementi lineari significativi il valore altimetrico delle celle ubicate lungo gli assi di tali elementi è stato opportunamente "corretto" grazie alle informazioni altimetriche desunte dal MKP.

La griglia degli elementi poligonali significativi è stata costruita individuando e digitalizzando su ortofoto la posizione di edifici isolati e di nuclei insediativi. Le celle posizionate in corrispondenza di questi elementi poligonali sono state opportunamente escluse dal calcolo idrodinamico.

Depurando la griglia grezza dalle informazioni altimetriche in corrispondenza delle sole celle degli elementi significativi, si è ottenuta una griglia del terreno, sempre di uguale risoluzione, ed infine, attraverso operazioni di map algebra, combinando le griglie degli elementi significativi e del terreno, si è pervenuti alla griglia definitiva che schematizza l'area di studio. Nella figura 6.2 sono illustrate, con riferimento ad un particolare dell'area di studio, le fasi principali del processo appena descritto.

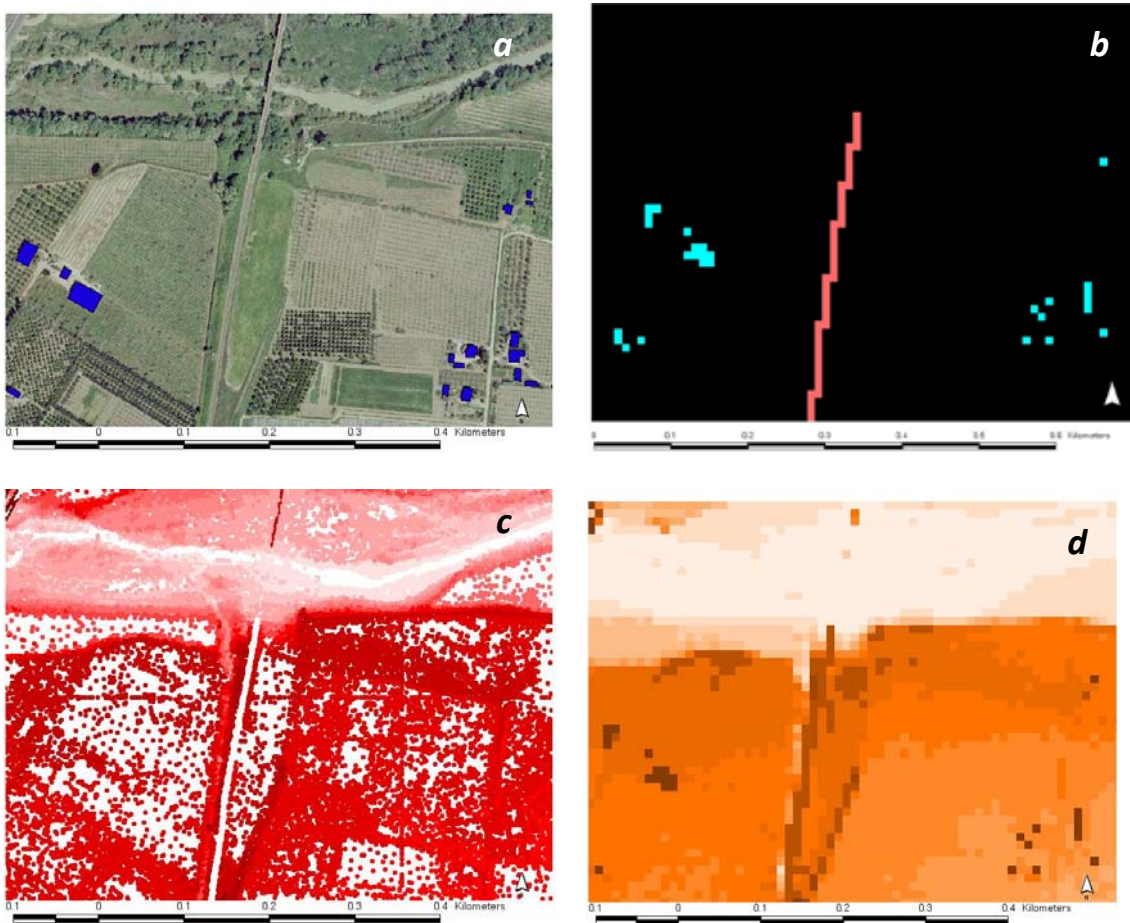


Figura 6.2. Particolare dell'area di studio: (a) poligoni rappresentativi di edifici e nuclei insediativi su ortofoto, (b) griglia degli elementi significativi, (c) MKP depurato dai punti caratterizzanti la sommità degli elementi significativi lineari, (d) griglia definitiva.

La presenza nella griglia di brusche variazioni altimetriche (veri e propri gradoni) in corrispondenza dei rilevati non pregiudica il buon funzionamento del modello, come visto nel paragrafo 2.5.

Inoltre, per ricostruire l'evento del 1 marzo 2011 si è tenuto conto in fase di creazione del modello digitale del terreno delle rotture arginali segnalate durante i sopralluoghi effettuati. In particolare si sono considerate le tre rotture avvenute circa 2 km a monte dell'attraversamento della SS106 sul Fiume Bradano, le cui lunghezze variavano dai 50 ai 100 metri, e la rottura arginale di circa 30 m di lunghezza riscontrata immediatamente a monte di tale attraversamento.



Figura 6.3. Rotture arginali lungo il fiume Bradano durante la piena del 1 marzo 2011 rilevate nei sopralluoghi (a sinistra) e rappresentate nel modello digitale del terreno (a destra).

Per garantire una corretta schematizzazione del fondo alveo, si è resa necessaria un'ulteriore correzione al dominio di calcolo dal momento che il telemetro laser utilizzato durante il rilievo della costa jonica non è in grado di stimare la quota dei punti al di sotto degli specchi d'acqua. Da un confronto effettuato tra le quote di fondo alveo lette sul grid ricavato a partire dal rilievo laser scan e quelle delle sezioni trasversali

rilevate situ per conto dell'Autorità Interregionale di Bacino della Basilicata, si è visto, infatti, che le differenze altimetriche sono dell'ordine di 1,5 m (figura 6.4). Pertanto a tutte le celle ricadenti in alveo è stata imposto un abbassamento di quota pari a 1,5 m.

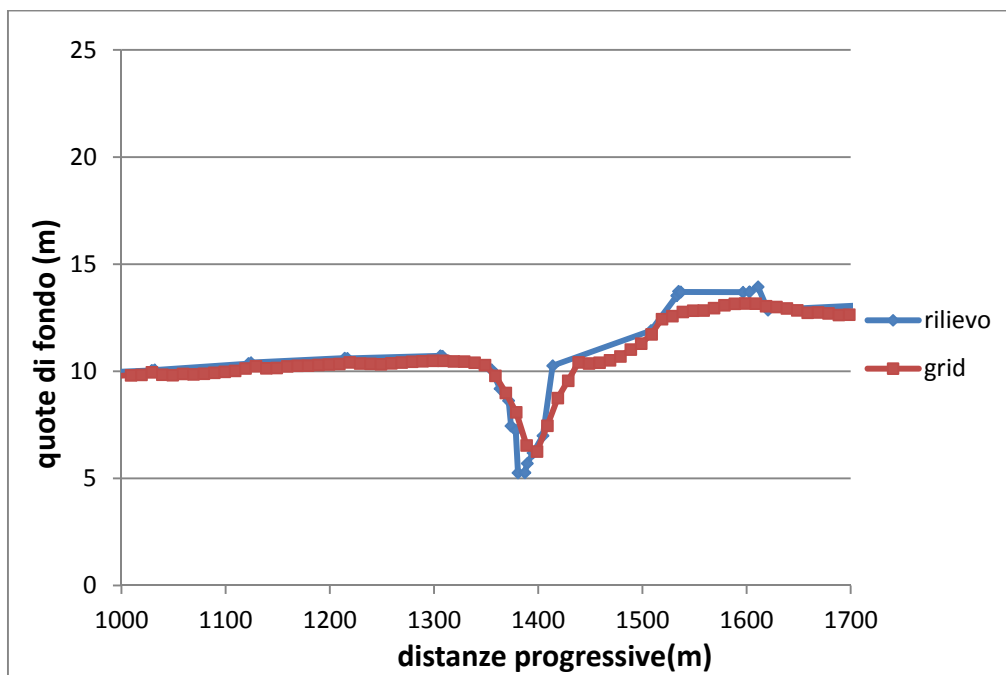


Figura 6.4. Confronto tra una sezione trasversale d'alveo in sito e quella ricavata nella stessa posizione dal grid ottenuto dal rilievo laser scan.

La modellazione non ha riguardato né i corsi d'acqua minori né i canali di bonifica presenti nell'area di studio.

Nella figura 6.5 è riportata la griglia di calcolo definitiva con le relative quote del terreno.

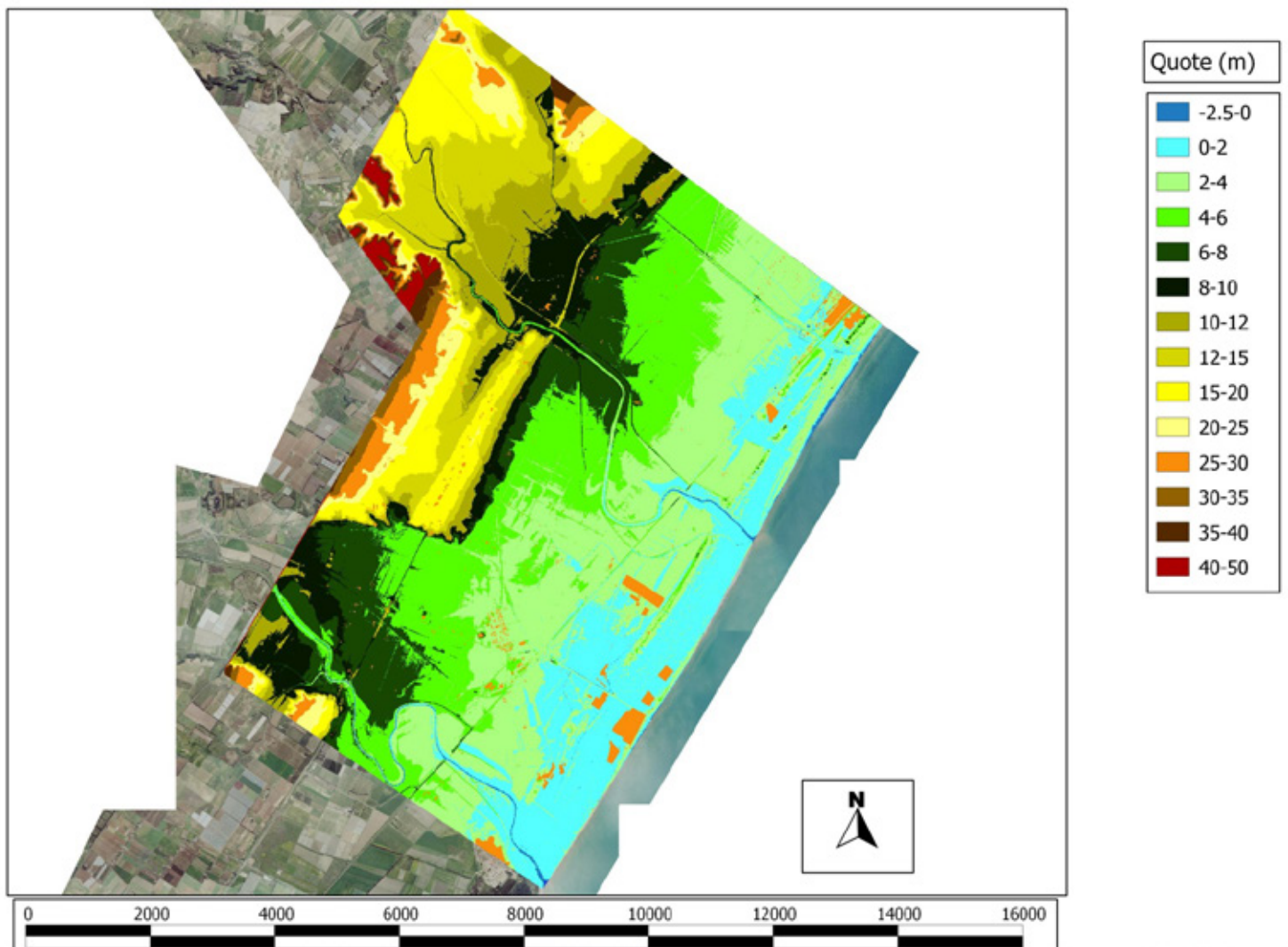


Figura 6.5. Griglia di calcolo definitiva utilizzata nel modello FLORA-2D.

6.3. Risultati della simulazione e confronto con il caso reale

La simulazione idraulica è stata effettuata considerando come condizione al contorno di monte l'idrogramma relativo all'evento del 1 marzo 2011 visto nel precedente capitolo e ipotizzando, come condizione al contorno di valle, un livello idrico alla foce costante corrispondente a 0,5 m s.l.m. in accordo con lo studio realizzato dall'Autorità di Bacino della Basilicata per la delimitazione delle aree inondabili lungo la costa jonica lucana. Si è utilizzato un passo temporale di calcolo pari a 2 secondi.

In figura 6.6 è riportato il risultato della simulazione dell'evento di marzo 2011 in termini di massima area inondabile ed inviluppo dei massimi tiranti raggiunti.

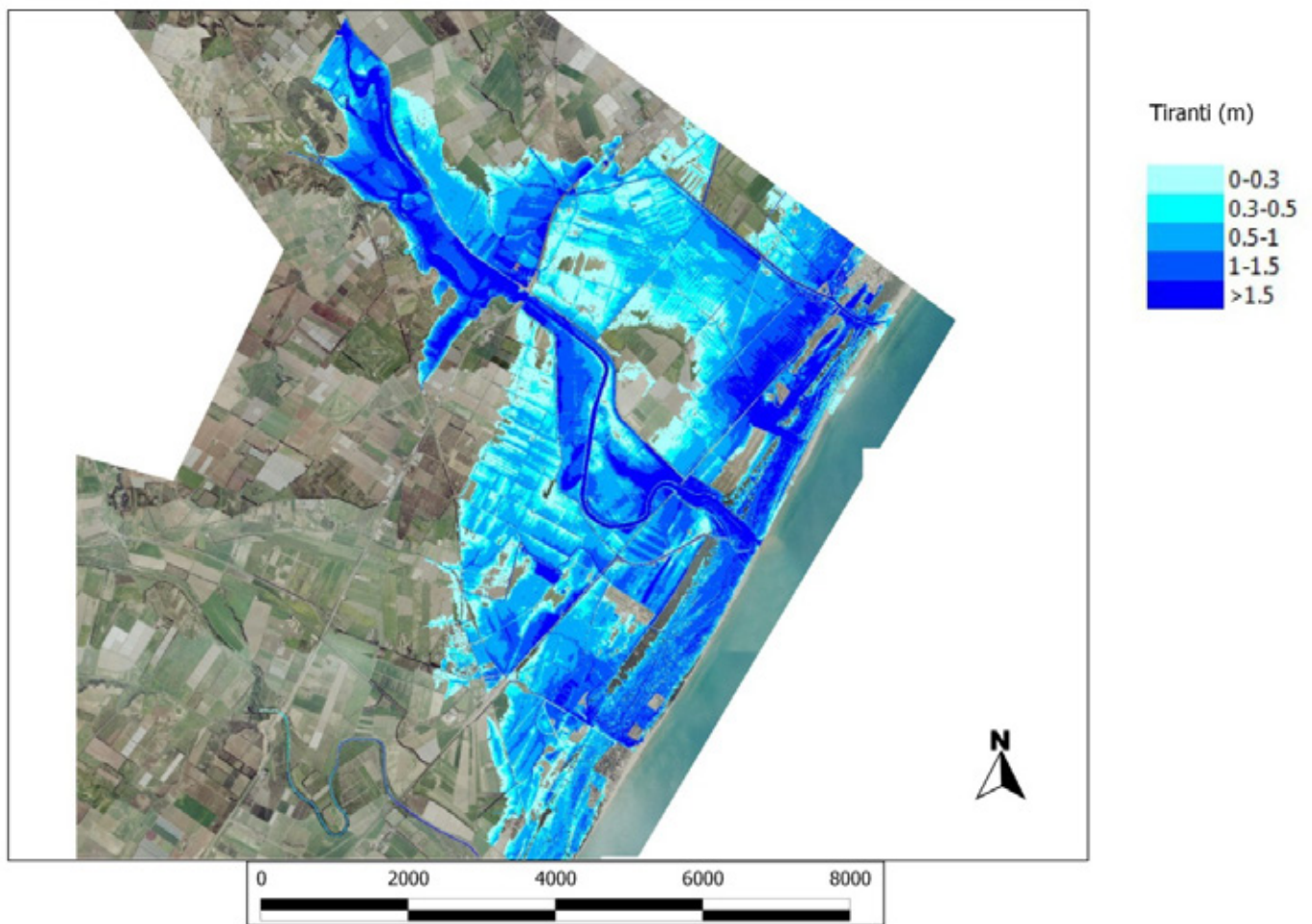


Figura 6.6. Risultati della simulazione dell'evento del 1 marzo 2011 in termini di massima area inondabile e inviluppo dei massimi tiranti raggiunti.

L'estensione dell'area inondabile calcolata è stata confrontata con le immagini satellitari COSMO-SkyMed (figura 6.7) fornite dall'Ufficio Protezione Civile della Regione Basilicata. Tali immagini sono state acquisite in un arco temporale che va dal pomeriggio del 2 marzo 2011 alla mattina del 3.

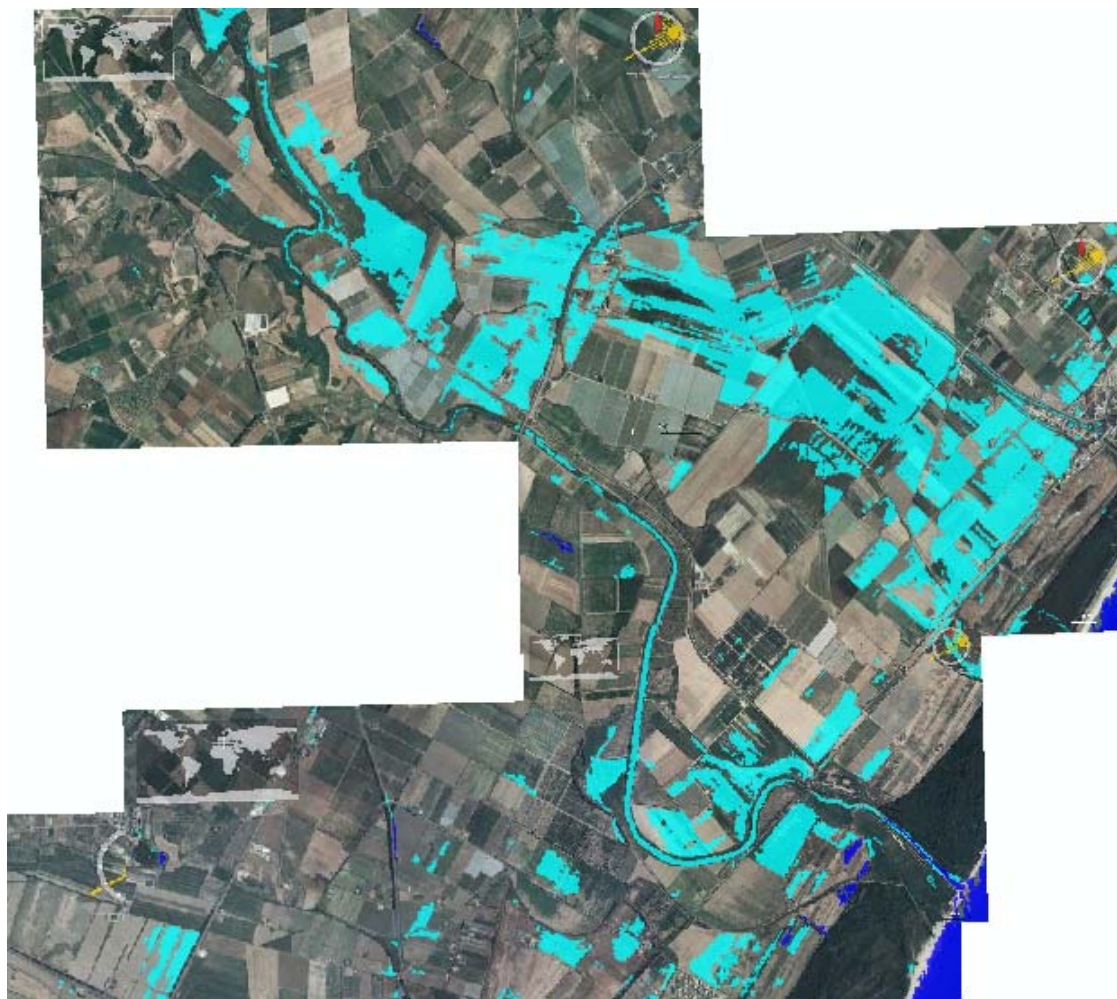


Figura 6.7. Evento alluvionale del 1 marzo 2011 – Immagine satellitare COSMO-SkyMed.

Il confronto è riportato nella figura 6.8.

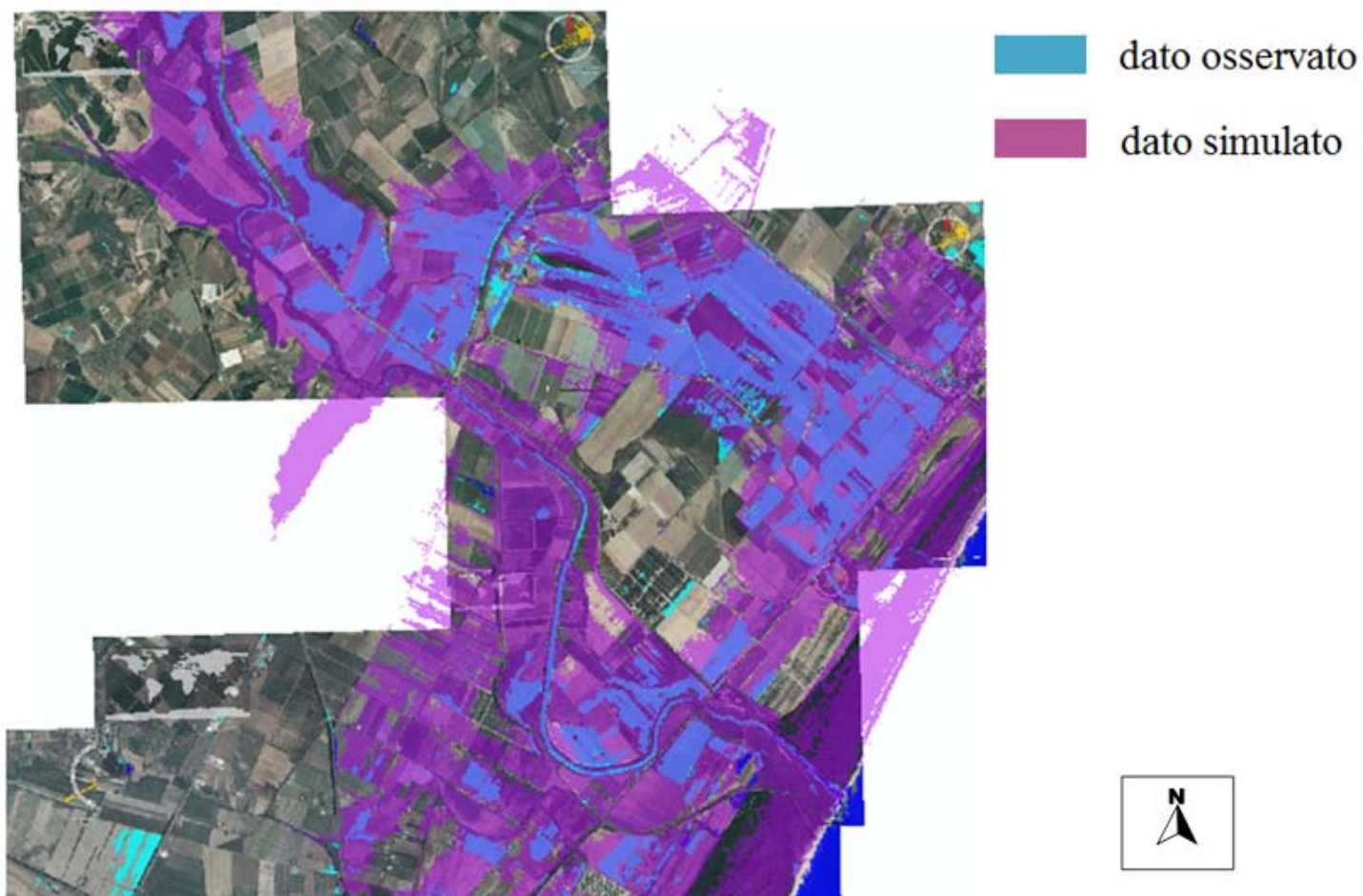


Figura 6.8. Evento alluvionale del 1 marzo 2011 – confronto tra massima area simulata e osservata.

Dalla sovrapposizione tra aree inondate simulate ed osservate è possibile notare come in sinistra idraulica del fiume Bradano il risultato ottenuto dal modello sia in buon accordo con le osservazioni da satellite.

Una sovrastima del modello sembrerebbe esserci per quel che riguarda le aree in destra idraulica. Bisogna tuttavia considerare che l'immagine satellitare probabilmente non riesce a rilevare le zone d'acqua che sono coperte da vegetazione arborea ad alta densità. L'area occupata dalla pineta, per esempio, sebbene allagata nella realtà (figura 6.9) e ben simulata con il modello FLORA-2D, risulta completamente asciutta sull'immagine.



Figura 6.9. Allagamento della pineta in seguito all'evento del 1 marzo 2011.

Inoltre, dato che le immagini satellitari sono state acquisite diverse ore dopo l'evento di piena, alcune zone potrebbero risultare non più allagate.

6.4. Considerazioni sulla variazione temporale della scabrezza

Dato che l'elemento più innovativo di quest'attività di ricerca è consistito nell'implementare un modello idraulico capace di computare la variazione temporale, oltre che spaziale, del coefficiente di resistenza al moto offerto dalla vegetazione, si è ritenuto opportuno concentrare l'attenzione sui risultati del modello FLORA-2D in termini di coefficiente di scabrezza relativi a due diverse celle allagate: una ricadente in un'area ricoperta da vegetazione rigida ed un'altra ricadente in un'area ricoperta da vegetazione flessibile.

Nel diagramma di figura 6.10 è riportata la variazione temporale del coefficiente di scabrezza n di Manning in una cella ricadente in un frutteto. Per comprendere meglio quello che accade, nello stesso diagramma è stata altresì riportata anche la variazione temporale del tirante.

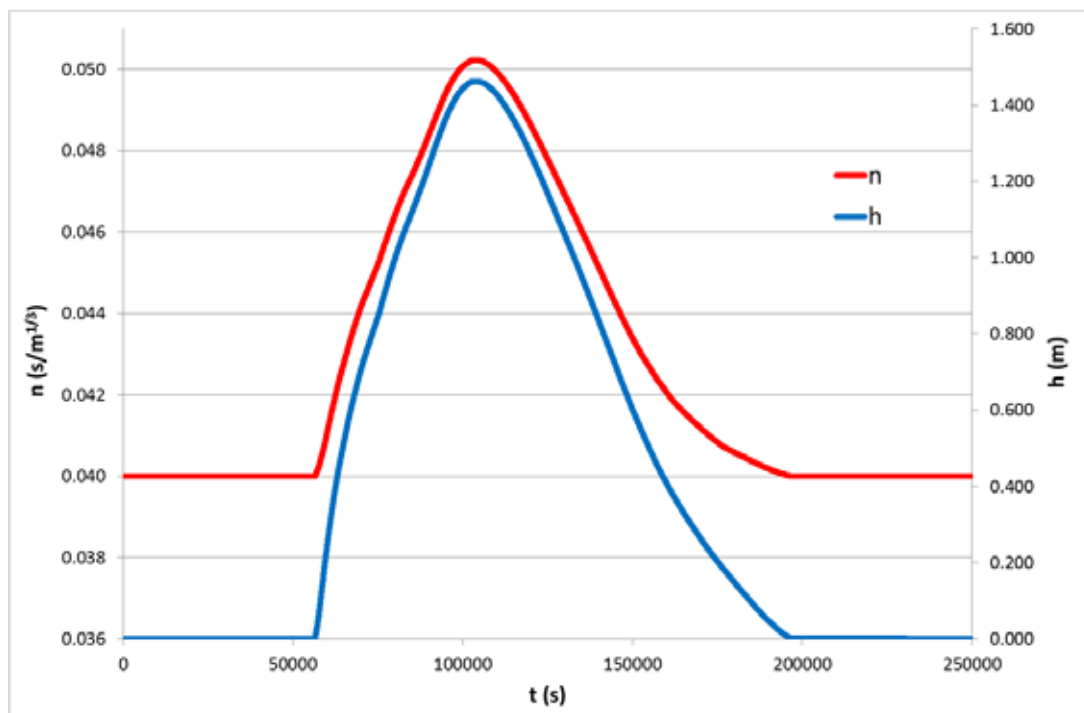


Figura 6.10. Variazione temporale del coefficiente di Manning e del tirante in una cella ricoperta da vegetazione arborea.

Si nota che, in accordo con la formula di Petryk e Bosmajian (1.4) utilizzata nel modello, l'andamento nel tempo del coefficiente di scabrezza in presenza di vegetazione arborea è analogo a quello del tirante.

Come anticipato nel paragrafo dedicato agli aspetti teorici della proposta di Freeman et al., molto più complessa è la stima della scabrezza in presenza di vegetazione flessibile in quanto le variabili che entrano in gioco sono più numerose del caso di vegetazione arborea. Nel diagramma di figura 6.11 è riportato l'andamento temporale del coefficiente di scabrezza in una cella ricadente in un'area ricoperta da arbusti. In questo caso si è ritenuto opportuno visualizzare oltre che la variazione temporale del tirante, anche quella della velocità, visto che essa rientra tra le grandezze che influenzano il coefficiente di scabrezza.

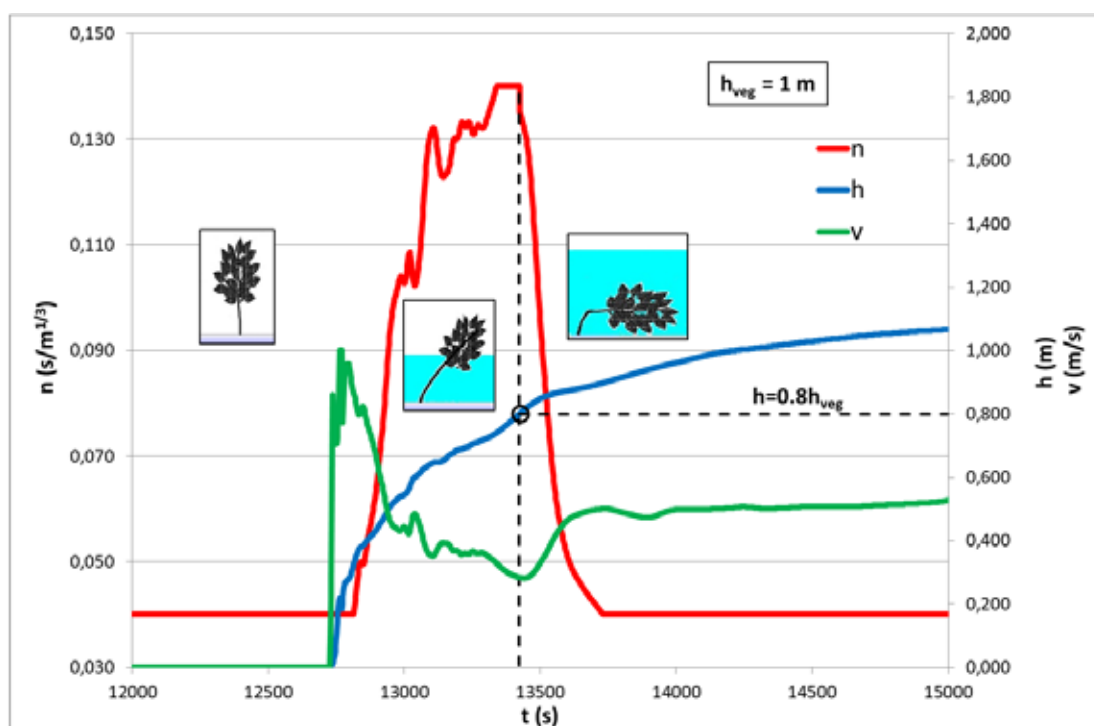


Figura 6.11. Variazione temporale del coefficiente di Manning, del tirante e della velocità in una cella ricoperta da vegetazione flessibile.

Anche in questo caso il modello sembra ben interpretare la teoria utilizzata per la sua implementazione. Si nota quindi che, in accordo con quanto proposto da Freeman et al. (formule 1.7 e 1.8), all'aumentare del tirante il coefficiente di scabrezza aumenta in condizioni di sommersione parziale ($h < 0,8 h_{veg}$) e diminuisce in condizioni di sommersione totale ($h > 0,8 h_{veg}$) come conseguenza del piegamento delle chiome. Analogamente la velocità, dopo un picco iniziale in corrispondenza dell'impatto del fronte sulla cella dovuto al fatto di aver trascurato i termini convettivi nelle equazioni del moto, diminuisce in condizioni di sommersione parziale a causa dell'aumentare della resistenza offerta dalla vegetazione e aumenta in condizioni di sommersione totale col piegarsi della pianta e quindi col diminuire della sua resistenza al moto.

Nell'implementazione del modello si è tenuto conto, attraverso l'inserimento di opportuni controlli, di tutti i limiti di validità della teoria di Freeman et al. visti in precedenza.

Sulla stessa area di studio considerata in questo lavoro sono stati effettuati, da parte del Dipartimento di Ingegneria e Fisica dell'Ambiente dell'Università degli Studi della Basilicata, diversi studi con l'utilizzo di diversi modelli di simulazione idraulica commerciali, tra cui il modello Mike Flood del Danish Hydraulic Institute.

Non si è ritenuto opportuno confrontare i risultati ottenuti in termini di tirante e di estensione delle aree inondabili, con quelli del Mike Flood, in quanto nel modello FLORA-2D non è ancora stato inserito un modulo che simuli la propagazione della piena in presenza di singolarità. Inoltre il Mike Flood, diversamente dal FLORA-2D, è un modello che accoppia una modellazione monodimensionale in alveo ad una modellazione bidimensionale fuori alveo. È risultato comunque interessante confrontare i tempi di simulazione dei due modelli, relativamente ad applicazioni effettuate

utilizzando lo stesso dominio di calcolo e considerando le stesse condizioni al contorno (tabella 6.1).

Da tale confronto si evince che i tempi di simulazione del modello FLORA-2D sono molto inferiori. Ciò è dovuto sia alle semplificazioni assunte nelle equazioni del moto, sia alla maggiore stabilità del modello FLORA-2D che consente l'utilizzo di time step più alti.

TEMPI DI SIMULAZIONE		
	FLORA-2D	MIKE FLOOD
T=30 anni	15 h	1g 10h
T=200 anni	21 h	4g 19h
T=500 anni	23 h	5g 6h

Tabella 6.1. Confronto tra i tempi di simulazione del modello FLORA-2D e del modello Mike Flood.