

Analisi idraulica del bacino fiume Aspio nei comuni di Camerano, Osimo e Castelfidardo RELAZIONE FINALE

> Prot. n.:472/2008 Settembre 2008

<u>Il Direttore del Centro</u> Fronco pastoli

Prof. Ing. Franco Siccardi

<u>Il Relatore</u>

Acyelilete Teraman Prof Ing.. Angela celeste Taramasso

INDICE

1	INTR	ODUZIONE	2
	1.1	PREMESSA	2
	1.2	SCOPO DEL DOCUMENTO	3
2	LOCA	ALIZZAZIONE DEL BACINO ANALIZZATO	4
3	ANAI	LISI IDROLOGICA	6
4	ANAI	LISI IDRAULICA DEL BACINO	11
	4.1	STRUTTURA GENERALE DEL SISTEMA MODELLISTICO	11
	4.2	DESCRIZIONE DEL MODELLO NUMERICO DI SIMULAZIONE	11
	4.3	SCHEMATIZZAZIONE DEL MODELLO	12
	4.3.1	Alto Aspio	14
	4.3.2	Medio Aspio	15
	4.3.3	Basso Aspio	16
	4.4	CONDIZIONI AL CONTORNO	17
	4.4.1	Alto Aspio	18
	4.4.2	Medio Aspio	21
	4.4.3	Basso Aspio	23
	4.5	DEFINIZIONE DELLE SCABREZZE	25
5	METO	DDOLOGIA DI DEFINIZIONE DELLE AREE ALLAGABILI	26
6	MAPI	PE DI INONDABILITÀ	28
	6.1	SCENARIO D'EVENTO DEL SETTEMBRE 2006	28
	6.1.1	Alto Aspio	
	6.1.2	Medio Aspio	
	6.1.3	Basso Aspio	
	6.2	EVENTO CON T=50 ANNI	31
	6.2.1	Alto Aspio	31
	6.2.2	Medio Aspio	32
	6.2.3	Basso Aspio	32
	6.3	EVENTO CON T=200 ANNI	34
	6.3.1	Alto Aspio	34
	6.3.2	Medio Aspio	35
	6.3.3	Basso Aspio	36
7	CON	CLUSIONI	37
8	BIBL	IOGRAFIA	38

1 INTRODUZIONE

1.1 PREMESSA

Il presente rapporto analizza in forma preliminare il rischio di inondazione delle aree urbanizzate perifluviali del Bacino dell'Aspio nei comuni di Camerano, Osimo e Castelfidardo.

Le osservazioni presentate dai funzionari della Regione nel corso della riunione tenuta in Savona il 14 e 15 ottobre 2008 sono state valutate ed hanno richiesto una documentazione di maggiore dettaglio di input e di output.

Alla precedente bozza di rapporto preparata per la riunione sopra ricordata sono stati aggiunti i seguenti elementi:

- 1) Allegato 1 descrizione del software MIKE11 utilizzato per la modellazione idraulica;
- Allegato 2 descrizione del software DRIFt utilizzato per la modellazione idrologica a partire dai dati contenuti nell'Allegato 2_A;
- 3) Allegato 2_A prodotto dalla Regione Marche per i dati di pioggia utilizzati;
- Allegato A contiene le tabelle riassuntive dei parametri idraulici relativi ad ogni sezione dell'alveo principale delle tratte analizzate per gli eventi considerati (T=50 anni, T=200 anni ed evento settembre 2006) e i profili longitudinali di profondità al colmo di piena per l'alveo principale dell'Aspio;
- 5) Allegato B contenente gli ietogrammi ed idrogrammi in input in formato tabellare;
- 6) Allegato C contenente i valori di scabrezza utilizzati nella modellazione;
- Allegato D files sezioni*.shp contengono gli shape file con la localizzazione delle sezioni estrapolate dal DTM per tutta l'asta analizzata (è allegato solo su supporto informatico);
- Allegato E files sezioni*.txt contengono i dati geometrici in formato tabellare delle sezioni utilizzate nella modellazione idraulica ed estratte dal DTM fornito dalla Regione Marche (è allegato solo su supporto informatico);
- Allegato F files network_hpoint*.shp contengono gli shape file con la localizzazione del network utilizzato e l'ubicazione con i relativi dati geometrici degli h_point utilizzati nella modellazione proposta (è allegato solo su supporto informatico).

Vanno ricordate in questa sede le cautele con le quali i risultati di un rapporto preliminare possono essere utilizzati.

Il rapporto è di utilità per il processo di pianificazione illustrato dai funzionari regionali nella riunione del 14 e 15 ottobre 2008.

Esso tuttavia non è, e non deve essere, utilizzato come progetto idrologico - idraulico definitivo delle opere o in generale delle realizzazioni e del sistema di vincoli territoriali.

Per gli interventi puntuali è necessaria una scala di indagini di maggior dettaglio insieme ad alcuni approfondimenti dell'input idrologico.

Per quanto riguarda l'idrologia delle precipitazioni estreme nel bacino dovrebbe essere più approfonditamente indagata la correlazione tra le precipitazioni osservate nei diversi pluviometri, al fine di pervenire alla caratterizzazione in termini di probabilità di superamento delle curve di possibilità pluviometrica ragguagliate dell'area.

Pertanto le connotazioni del periodo di ritorno associati agli ietogrammi di progetto e agli idrogrammi consegnati debbono essere intesi come una stima approssimata.

Esse potrebbero essere meglio lette intendendo il periodo di ritorno evidenziato costituire il limite inferiore delle stime, e pertanto cautelativo.

Per quanto riguarda la modellazione idraulica alcuni dettagli della rete di drenaggio andranno meglio riprodotti, anche tenendo conto delle connessioni idrauliche che si rilevano soltanto dall'esperienza sul terreno.

1.2 SCOPO DEL DOCUMENTO

La presente relazione ha per oggetto l'analisi idraulica di una parte del bacino del fiume Aspio interessando i territori dei comuni di Camerano, Osimo, Castelfidardo.

Essa è stata svolta mediante la modellazione matematica dei fenomeni idrodinamici a partire dalla caratterizzazione geometrica e fisiografica del sistema fluvio-golenale ricavato dalle attività di rilievo e di indagine conoscitiva e dai dati elaborati in fase di modellazione idrologica da parte della regione Marche nell'ambito di precedenti collaborazioni, anche con ditte esterne.

La modellazione idraulica degli scenari per tempi di ritorno di 50 e 200 anni fornisce una prima descrizione dei possibili massimi livelli di piena e delimitazione delle aree allagabili. La modellazione effettuata a partire dai dati idro-pluviometrici dell'evento del settembre 2006 è stata utilizzata solo per scopi di calibrazione del modello.

Le aree allagabili sono state ottenute ipotizzando uno schema idraulico semplificato e le simulazioni sono state effettuate mediante la realizzazione di un modello numerico con il codice di calcolo Mike 11, modulo HD, del Danish Hydraulic Institute Water and Environment, di cui è riportata una breve descrizione nell'Allegato 1.

Il documento costituisce una base di riferimento essenziale per la progettazione preliminare di interventi di mitigazione da realizzarsi eventualmente sul Rigo e Scaricalasino, affluenti in destra idrografica del torrente Aspio.

2 LOCALIZZAZIONE DEL BACINO ANALIZZATO

La porzione di bacino del fiume Aspio oggetto di indagine presenta una lunghezza d'asta principale di circa 16 km e sottende un'area di circa 85 km² (Figura 2-1).



Figura 2-1 Inquadramento territoriale del bacino del fiume Aspio (in rosso il reticolo idrografico)

Il bacino idrografico del torrente Aspio è caratterizzato da una notevole vulnerabilità e propensione alla criticità idrogeologica, dovuta principalmente alla natura impermeabile dei suoli con conseguente veloce risposta idrologica ed alla elevata concentrazione di attività commerciali e industriali presenti lungo il suo corso terminale. Le sezioni idrauliche del fiume Aspio sono insufficienti a contenere una piena di una certa rilevanza ed il problema si aggrava se si considera il pericolosissimo effetto di sbarramento temporaneo che il trasporto verso valle di ingenti quantità di materiale solido può comportare in prossimità delle numerose strutture di attraversamento presenti lungo il tratto, le cui arcate vengono frequentemente ostruite.

All'interno dell'area interessata dallo studio vi sono insediamenti industriali di piccola e media dimensione e civili.



Figura 2-2 Indicazione degli elementi areali di rilevante importanza per la tratta del fiume Aspio studiata

Come già osservato lungo i vari tratti modellati sono presenti numerose strutture di attraversamento, alcune delle quali aventi luce libera di deflusso totalmente inadeguata a garantire il deflusso regolare delle acque in piena.

I ponti sono stati schematizzati nell'ambito del modello con strutture tipo "culvert", di forma geometrica variabile secondo una relazione quota-larghezza che tiene conto della luce di deflusso al netto delle pile. Il codice di calcolo MIKE 11 permette di calcolare le perdite di carico concentrate dovute al deflusso sotto i ponti tenendo conto delle condizioni idrauliche di monte e di valle, del rapporto di restringimento e dei coefficienti di perdita localizzata, funzione essenzialmente della forma delle pile. Sono stati inoltre schematizzati gli estradossi dei manufatti mediante "weir" al fine di rappresentare l'eventuale sormonto della struttura. Il "weir" è inserito come stramazzo a larga soglia tramite una relazione livelli-larghezze e la definizione delle perdite di carico localizzate: il codice di calcolo permette di definire le caratteristiche di deflusso sia in condizioni di stramazzo libero sia in condizioni rigurgitate da valle.



Figura 2-3 Schematizzazione della struttura delle traverse in MIKE 11

3 ANALISI IDROLOGICA

La modellazione idrologica del bacino del fiume Aspio è stata condotta utilizzando il modello afflussi-deflussi MIKE-DRIFT, una breve descrizione è riportata nell'Allegato 2.

Il modello è versatile e bene si presta a differenti scopi: effettua la simulazione a scala d'evento rappresentando la situazione relativa ad un periodo di tempo limitato da alcune ore a qualche giorno ed è inoltre in grado di assumere per ogni evento condizioni d'umidità del suolo specifiche da cui iniziare la simulazione.

A partire dal modello digitale d'elevazione del territorio (DTM – Digital Terrain Model) prodotto per questo specifico studio dal committente, utilizzando un opportuno filtro definito tramite il parametro geomorfologico AS^{k(1)}, MIKE-DRIFT procede ad una corretta identificazione delle direzioni di drenaggio ed a una opportuna distinzione tra la rete canalizzata e i versanti, restituendo un reticolo idrografico rappresentativo delle principali caratteristiche del bacino reale. Utilizza inoltre, sintetizzate nel parametro denominato Curve Number, altre informazioni territoriali quali la litologia, l'uso del suolo, la copertura vegetale, che influenzano il processo di formazione delle piene. Tutti i dati necessari al modello sono contenuti in matrici d'informazione: ogni elemento della matrice rappresenta l'informazione specifica relativa alla cella in questione. Pertanto le informazioni in ingresso sono distribuite e hanno la stessa definizione della maglia della griglia in cui il bacino è stato suddiviso tramite l'elaborazione del modello digitale d'elevazione del terreno. Oltre ai parametri di carattere morfologico, che come detto individuano la rete di drenaggio e la distinzione tra le due componenti della rete (versanti

⁽¹⁾ Con A= area drenata del bacino, S = pendenza del bacino, K= esponente geomorfologico

e canali), Mike–Drift è anche caratterizzato da due parametri di carattere cinematico, la velocità rispettivamente in canale e in versante e un parametro fisico rappresentante lo stato d'umidità del terreno che identifica appunto la situazione fisica d'inizio simulazione. La calibrazione dei parametri tempo invarianti velocità di versante e velocità di canale è stata effettuata sulla base d'eventi intensi di precipitazione per i quali si hanno a disposizione dati di pioggia e misure idrometriche; si è valutato infatti il set di parametri che meglio ha riprodotto i diversi idrogrammi osservati, focalizzando l'interesse sui valori di portata al picco e tempo in cui tale picco si manifesta. Quindi, si sono elaborati statisticamente i dati storici di precipitazione per la costruzione d'eventi pluviometrici sintetici di progetto per i tempi di ritorno di 50 e 200 anni, attività questa svolta in stretta collaborazione con il Centro Funzionale per la Meteorologia, Idrologia e Sismologia della Regione Marche, e per la simulazione dell'input di precipitazione relativo all'evento del 16-17 Settembre 2006.

Per quanto riguarda le mappe di precipitazione (*rainmap*) associate agli eventi sintetici relativi ai due tempi di ritorno considerati, si sono utilizzate i dati pluviometrici di quattro stazioni: Ancona-Torrette, Baraccola, Osimo e Recanati.

STAZIONE	GAUSS_BOAGA		
STAZIONE	longitudine [m]	latitudine [m]	
ANCONA (Torrette)	2395235	4829807	
BARACCOLA	2399744	4824614	
OSIMO	2397484	4815878	
RECANATI	2402100	4806908	

Tabella 3-1 Localizzazione dei pluviometri utilizzati per la definizione delle rainmap di progetto



Figura 3-1 Localizzazione dei pluviometri utilizzati per la definizione delle rainmap di progetto

letogrammi di progetto per T=50 anni



Figura 3-2 letogrammi di progetto delle 4 stazioni considerate per T=50 anni

letogrammi di progetto per T=200 anni



Figura 3-3 letogrammi di progetto delle 4 stazioni considerate per T=200 anni

Per quanto riguarda la simulazione dell'evento del Settembre 2006, si sono utilizzate le misure pluviometriche registrate dai quattro pluviometri citati in precedenza con l'aggiunta dei dati di altre due stazioni: Loreto e Agugliano, delle quali si riporta di seguito la localizzazione.

STAZIONE	GAUSS_BOAGA		
STAZIONE	longitudine [m]	latitudine [m]	
ANCONA (Torrette)	2395235	4829807	
BARACCOLA	2399744	4824614	
OSIMO	2397484	4815878	
RECANATI	2402100	4806908	
AGUGLIANO	2389103	4822301	
LORETO	2407082	4810253	

Tabella 3-2 Localizzazione dei pluviometri utilizzati per la definizione della rainmap dell'evento del 16-17/09/2006



Figura 3-4 Localizzazione dei pluviometri utilizzati per la definizione della rainmap dell'evento del 16-17/09/2006

Di seguito si riportano i dati registrati dai sei pluviometri disponibili durante l'evento del 16-17 Settembre 2006 sul bacino dell'Aspio, con intervallo di misura pari a 15 minuti.



Precipitazioni relative all'evento del 16-17/09/06

Figura 3-5 Serie pluviometriche registrate durante l'evento del 16-17/09/2006

A partire dagli ietogrammi (sintetici per i tempi di ritorno di progetto e registrati per l'evento del Settembre 2006) si sono costruite le *rainmap*, utilizzate come input di pioggia per la generazione degli idrogrammi, combinando i dati delle diverse stazioni attraverso il metodo dei topoieti di Thiessen.

4 ANALISI IDRAULICA DEL BACINO

4.1 STRUTTURA GENERALE DEL SISTEMA MODELLISTICO

Il sistema fluvio-golenale dei tratti nei diversi ambiti in cui è stato suddiviso l'area del bacino del fiume Aspio in esame è stato rappresentato nel suo complesso mediante un modello numerico di tipo monodimensionale introducendo un approccio quasi-bidimensionale descritto in dettaglio nei paragrafi successivi dove la geometria del tratto, per ogni ambito, lo ha reso necessario.

4.2 DESCRIZIONE DEL MODELLO NUMERICO DI SIMULAZIONE

Le verifiche idrauliche sono state eseguite utilizzando il codice di calcolo MIKE 11 (modulo idrodinamico HD) del Danish Hydraulic Institute Water & Environment.

Mediante questo codice di calcolo è stato messo a punto sullo sviluppo dell'asta fluviale in oggetto un modello idrodinamico quasi-bidimensionale, in modo da ottenere un maggior dettaglio in corrispondenza di ampie aree soggette ad esondazione, di rilevati e infrastrutture interferenti in golena, di zone con particolare configurazione corografica.

La tipologia "quasi-2D" fa riferimento ad un tipo di modello numerico che, pur basandosi sulle formulazioni monodimensionali di De St.Venant per la rappresentazione del moto vario in canali a pelo libero, può essere applicato su una rete idraulica a maglie aperte o chiuse ed è in grado di descrivere in modo adeguato fenomeni idraulici che interessano tratti fluviali nei quali il transito della piena può riguardare in modo determinante lo scambio di deflusso tra l'alveo attivo e le zone golenali, con prevalenti funzioni di laminazione rispetto all'alveo.

La schematizzazione monodimensionale considerata consente di rappresentare il deflusso nell'alveo principale di piena del corso d'acqua in maniera generalmente conservativa, ma non permette la rappresentazione dello scambio di portata tra alveo attivo e golene, né l'analisi della distribuzione dei deflussi in una rete ramificata di canali di flusso a pelo libero. Un modello quasi-bidimensionale consente invece di rappresentare uno schema planimetrico complesso costituito da più rami monodimensionali collegati tra loro ed eventualmente interagenti con una serie di "casse" nelle quali il moto è trascurabile ma che svolgono un'importante azione di accumulo e rilascio dei volumi esondati.

Un modello quasi-bidimensionale ha generalmente le seguenti caratteristiche:

- rappresenta una serie di canali monodimensionali, nei quali valgono le equazioni di De St.Venant di conservazione dell'energia e di conservazione della massa, tra loro interconnessi per mezzo di confluenze e diramazioni atte a creare una rete a maglia aperta o chiusa;
- su ogni ramo della rete possono essere rappresentate le strutture idrauliche presenti (sfioratori, stramazzi, tombini, ponticelli) che vengono descritte per mezzo di una forma particolare dell'equazione di conservazione dell'energia che tiene localmente conto delle perdite di carico concentrate dovute al deflusso sulla struttura;
- le condizioni di confluenza e di diramazione vengono imposte idraulicamente mediante l'uguaglianza della quota del livello idrico nelle sezioni di congiungimento tra i due rami, calcolando di conseguenza la ripartizione dei deflussi sulla base delle caratteristiche idrauliche dei tratti confluenti.

Un modello di questo tipo, pur non risolvendo le equazioni bidimensionali del moto, è comunque in grado di rappresentare adeguatamente il comportamento idraulico nella direzione del moto e nelle direzioni trasversali. Per questa ragione tale tipo di modello assume la notazione di "quasi" bidimensionale.

Il codice di calcolo MIKE 11, utilizzato per la costruzione del modello, consente di operare tale tipo di descrizione, passando direttamente dallo schema monodimensionale a quello quasi-2D mediante la semplice introduzione di rami di deflusso golenali e celle di invaso. Il modello idraulico di simulazione è interfacciato in ambiente GIS mediante il modulo MIKE GIS del DHI operante in ambiente ARCVIEW che consente l'elaborazione di aree di esondazione per i diversi tempi di ritorno considerati e/o per gli scenari di evento simulati sulla base del modello digitale del terreno.

4.3 SCHEMATIZZAZIONE DEL MODELLO

Il modello realizzato rappresenta i diversi tratti del fiume Aspio, suddiviso in tre parti per problemi di tempi di calcolo numerico, alto medio e basso Aspio. Le simulazioni idrauliche effettuate con il modello quasi-bidimensionale sono finalizzate al tracciamento delle aree allagabili ed alla definizione dei tiranti idrici in seguito ad eventi di diverso tempo di ritorno. Esse si appoggiano sul modello digitale delle elevazioni ottenuto da rilievo aereo con apparecchiatura laser-scan eseguito appositamente per lo studio. L'informazione topografica a disposizione presenta una risoluzione di 0.5 metri per l'asta fluviale e per le aree golenali potenzialmente interessate del deflusso della corrente. L'estrazione delle sezioni trasversali dell'alveo e dei piani golenali necessari alla modellazione idraulica è stata condotta a partire dall'unione e campionamento a 0.5 metri dei DTM disponibili. L'operazione di estrazione delle sezioni è stata condotta mediante il software MIKE 11 GIS che consente di generare in modalità automatica il file di input al modello idrodinamico. La geometria del modello è stata ulteriormente integrata inserendo i rilievi a terra in corrispondenza dei manufatti interferenti presenti lungo l'asta fluviale. In Figura 4-1 si riporta la schematizzazione dell'asta fluviale elaborata con il DTM di dettaglio utilizzato.



Figura 4-1 Schematizzazione dell'asta fluviale

Per semplificare il modello dal punto di vista idraulico e per una migliore gestione dei dati informativi geografici si è suddiviso il bacino in tre ambiti, ovvero Alto Aspio, Medio Aspio e Basso Aspio. Ciò con lo scopo di minimizzare problemi legati principalmente ai tempi computazionali del software idraulico e alle dimensioni del DTM, consentendo una netta

semplificazione nella costruzione del modello di rete idrografica e un più rapido ottenimento e controllo dei risultati in uscita dalle simulazioni.

Di seguito si riportano le descrizioni di dettaglio delle soluzioni adottate per la definizione del network idrografico nei tre ambiti nei quali il bacino è stato suddiviso.

4.3.1 Alto Aspio

L'ambito di monte del bacino dell'Aspio comprende 6 km circa dell'asta di monte dell'Aspio, a partire da circa 1,7 km a monte della confluenza con il Piantatelunghe sino a 800 m a valle della confluenza con il Boranico, e include le aste terminali dei torrenti Piantatelunghe (ultimi 2050 m), Marganeto (ultimi 1950 m) e Boranico (ultimi 1600 m), tutti in sponda sinistra (Figura 4-2).



Figura 4-2 Alto Aspio - Schematizzazione del reticolo idrografico

Dalla schematizzazione del *network* idrografico riportata in Figura 4-2, si osserva come, oltre alla modellazione degli alvei principali dei corsi d'acqua analizzati (in blu), in diversi casi si sia ritenuto necessario modellare tramite l'inserimento di canali perifluviali (in rosso) l'eventuale sormonto arginale delle acque di piena. Si sono infatti inseriti nel modello canali laterali (tutti inferiori a 500 m) lungo il corso del Piantatelunghe, del Boranico e dell'Aspio, quest'ultimo nel

tratto compreso tra le confluenze del Marganeto e del Boranico. Si è inoltre ritenuto utile, considerata la morfologia della zona, modellare il passaggio delle acque di piena parallelamente al tratto dell'Autostrada Adriatica compreso tra gli alvei del Piantatelunghe e dell'Aspio: la presenza del rilevato autostradale, infatti, unita alla pendenza naturale dell'area in questione possono determinare un deflusso fuori alveo dalla sezione del Piantatelunghe immediatamente a monte dell'arteria autostradale sino alla sezione dell'Aspio a valle di essa.

4.3.2 Medio Aspio

L'ambito del Medio Aspio comprende i 7 km circa dell'Aspio corrispondenti al tratto da 400 m a valle della confluenza con il Boranico sino a 800 m circa a monte dell'attraversamento della SP23 "Lauretana". Tale ambito comprende inoltre per intero gli affluenti in destra dello Scaricalasino (formato dall'unione dei fossi di Offagna e S.Valentino) e del Rigo e le parti terminali del Cencio (ultimi 1200 m circa) e Betelico (ultimi 2250 m circa) (Figura 4-3).



Figura 4-3 Medio Aspio - Schematizzazione del reticolo idrografico

A causa della differente morfologia del territorio, per la porzione mediana del bacino dell'Aspio si è fatto un ricorso maggiore alla modellazione "quasi-2D" rispetto alla parte di monte. Il corso dell'Aspio risulta infatti per la quasi totalità della sua lunghezza affiancato da almeno un canale laterale: all'altezza dell'abitato di Osimo Stazione e sino alla fine del tratto, entrambi i lati dell'Aspio sono modellati come canali di deflusso perifluviali. Al Fosso S.Valentino e alla parte terminale dello Scaricalasino è stato associato un canale perifluviale in entrambi i casi di lunghezza circa pari a 1 km. Anche gli ultimi 2,5 km circa del Rigo hanno richiesto la modellazione di zone di deflusso laterale, mentre per il Betelico si è ritenuto opportuno tale soluzione per entrambe le sponde lungo tutta la lunghezza del tratto.

4.3.3 Basso Aspio

L'ambito del Basso Aspio è costituito dagli ultimi 4 km circa dell'Aspio e termina in corrispondenza con la confluenza nel Musone. La conformazione del territorio e, in particolar modo, la forte presenza di rilevati antropici (in massima parte relativi a infrastrutture viarie) comporta una notevole complicazione relativamente alla modellazione del deflusso di piena.



Figura 4-4 Basso Aspio - Schematizzazione del reticolo idrografico

Dalla figura precedente (Figura 4-4), si osserva come sia in sponda destra sia in sinistra si siano inseriti canali perifluviali per l'intera lunghezza del tratto. Inoltre, per i primi 1,5 km circa del tratto si è modellato l'eventuale sormonto dell'Autostrada Adriatica attraverso l'aggiunta di una seconda zona di deflusso parallela a quella già inserita in sponda sinistra: le acque transitanti in tale area vengono infine fatte ricongiungere con il canale perifluviale in sinistra a valle dell'attraversamento autostradale. Si è inoltre ritenuto che le dimensioni del terrapieno relativo all'arteria autostradale siano tali da non consentire il sormonto alle acque di piena eventualmente esondate in destra orografica: a seguito dell'analisi della morfologia del territorio si è scelto di considerare il deflusso fuori alveo parallelo al lato di monte (rispetto al thalweg dell'Aspio) dell'Autostrada Adriatica, evitando di modellare semplicemente l'"effetto diga" del rilevato in prossimità dell'alveo principale.

L'aver simulato un evento di piena con effetti al suolo documentati sul territorio in esame ha permesso di implementare un modello di deflusso delle acque anche fuori alveo certamente maggiormente rispondente al vero e non definito solo sulla base delle esperienze e conoscenze della morfologia del territorio.

4.4 CONDIZIONI AL CONTORNO

Le condizioni al contorno imposte per l'esecuzione delle simulazioni idrodinamiche con il modello MIKE 11 prevedono una condizione di valle ed una condizione di monte. Come condizione di monte si sono posti gli idrogrammi di piena sintetici con tempi di ritorno di 50 e 200 anni definiti dall'analisi idrologica condotta con il modulo DRIFT del codice MIKE 11 in condizioni intermedie di bagnamento del suolo (AMC II) e, nel caso della simulazione dell'evento del 16 Settembre 2008, idrogrammi simulati a partire dai valori di precipitazione registrati dai pluviometri disponibili. Come condizione di valle generalmente si pone una scala di deflusso costruita ipotizzando un regime di moto della corrente. Di seguito si illustrano le scelte relative alle condizioni al contorno per i tre ambiti nei quali il bacino dell'Aspio è stato suddiviso.

4.4.1 Alto Aspio

4.4.1.1 CONDIZIONI DI MONTE

Per i tre affluenti del tratto, come condizione di monte si sono posti gli idrogrammi per i due tempi di ritorno chiusi alla confluenza con l'Aspio. Per quanto riguarda l'input per l'Aspio, si è considerata come sezione di chiusura l'inizio del tratto, in quanto il contributo degli affluenti viene tenuto in conto nel corso della modellazione. Di seguito si riportano gli idrogrammi utilizzati come condizioni di monte.



Figura 4-5 Alto Aspio - idrogrammi di input per T=50 anni



Figura 4-6 Alto Aspio - idrogrammi di input per T=200 anni

Nel caso della simulazione dell'evento del Settembre 2006 si sono considerate condizioni antecedenti di bagnamento del terreno intermedie (AMC II) per il calcolo degli idrogrammi a monte dei tre affluenti in sinistra orografica, mentre per la condizione di monte all'Aspio si è ritenuto più rispondente alla realtà un terreno con un minore contenuto d'acqua (AMC I).



Figura 4-7 Alto Aspio – idrogrammi di input per l'evento del 16-17 Settembre 2006

4.4.1.2 CONDIZIONI DI VALLE

Come condizione al contorno di valle è stata calcolata l'opportuna scala di deflusso: la relazione Q/h è stata valutata imponendo lo stato di moto critico alla progressiva 6063, corrispondente all'ultima sezione dell'Aspio.

4.4.2 Medio Aspio

4.4.2.1 CONDIZIONI DI MONTE

Vista le differenti caratteristiche ed estensione degli affluenti in destra rispetto a quelli in sinistra, si è ritenuto opportuno differenziare la tipologia e il posizionamento delle condizioni al contorno di monte. Per quanto riguarda gli affluenti in sinistra orografica, si sono utilizzati gli stessi criteri applicati per gli affluenti dell'Alto Aspio: ovvero, si sono considerati i vari idrogrammi chiusi alla confluenza con l'Aspio, con condizioni di bagnamento del terreno AMC II. In relazione agli affluenti di destra, Scaricalasino e Rigo, si è optato per una soluzione più articolata. Entrambi i corsi d'acqua, infatti, si formano dall'unione di due rii (o fossi); di conseguenza si è scelto di porre come condizione di monte per i quattro rii l'idrogramma chiuso immediatamente a monte della loro unione. Immediatamente a valle di tale unione, ovvero quando si formano i due corsi d'acqua principali, si è posta un'ulteriore condizione di afflusso laterale corrispondente all'idrogramma chiuso alla confluenza con l'Aspio (ovviamente, escludendo per ognuno dei due corsi d'acqua il contributo dei due rii di monte).

Tutti gli idrogrammi sono stati costruiti considerando condizioni di bagnamento intermedie AMC II, ad esclusione dell'afflusso laterale a valle dell'unione dei fossi di Offagna e S.Valentino, in corrispondenza dell'inizio dello Scaricalasino, dove per l'evento del 2006 si sono modellate condizioni di bagnamento AMC III, a seguito di considerazioni sulle precipitazioni precedenti l'evento.

Come condizione di monte per l'Aspio, infine, si sono utilizzati gli idrogrammi in uscita dal modello idraulico relativo all'ambito dell'Alto Aspio.





Figura 4-8 Medio Aspio - idrogrammi di input per T=50 anni

Figura 4-9 Medio Aspio - idrogrammi di input per T=200 anni



Figura 4-10 Medio Aspio - idrogrammi di input per l'evento del 16-17 Settembre 2006

4.4.2.2 CONDIZIONI DI VALLE

In uscita al modello sono presenti tre canali di deflusso: l'alveo principale dell'Aspio e i suoi due canali perifluviali in destra e sinistra orografica. Per tutti e tre i casi si è posto come condizione al contorno di valle l'opportuna scala di deflusso, valutata imponendo lo stato di moto critico.

4.4.3 Basso Aspio

4.4.3.1 CONDIZIONI DI MONTE

L'ambito di valle dell'Aspio non presenta affluenti laterali del corso d'acqua principale, per cui le condizioni di monte sono state ricavate dagli idrogrammi in output dal modello idraulico del Medio Aspio.



Figura 4-11 Basso Aspio - idrogrammi di input per T=50 anni



Figura 4-12 Basso Aspio - idrogrammi di input per T=200 anni



Figura 4-13 Basso Aspio - idrogrammi di input per l'evento del 16-17 Settembre 2006

4.4.3.2 CONDIZIONI DI VALLE

In uscita al modello idraulico del Basso Aspio sono presenti quattro canali di deflusso. Oltre all'alveo principale e ai due canali perifluviali laterali, infatti, si è considerato il deflusso parallelo all'arteria autostradale "Adriatica", determinato dalle dimensioni rilevanti dell'infrastruttura. In tutti tali casi si è posta come condizione al contorno di valle la scala di deflusso sotto condizioni di moto critico.

4.5 DEFINIZIONE DELLE SCABREZZE

Il coefficiente di scabrezza in un alveo naturale è una misura globale della resistenza al moto; i valori introdotti nel modello sono stati definiti facendo riferimento in particolare alle caratteristiche specifiche dei materiali che compongono l'alveo ed alla copertura vegetale delle sponde e delle aree golenali adiacenti interessate al deflusso. A tal fine risultano determinanti le informazioni acquisite in fase di rilievo a terra e la consultazione degli elaborati cartografici e fotografici a disposizione.

Il prodotto originale che si ottiene dal rilievo con laser-scan è infatti una mappa raster con l'indicazione delle quote della copertura del suolo, ovvero il DEM (Digital Elevation Model).

Di conseguenza le quote del DEM corrispondono a quelle del terreno solo in corrispondenza di suolo nudo, ovvero non vegetato; in caso contrario, infatti, il DEM restituisce le quote alla sommità della vegetazione, che nel caso di suolo boscato possono essere superiori di parecchi metri rispetto al terreno. A seguito dell'eliminazione della copertura vegetata si ottiene invece il DTM (Digital Terrain Model), ovvero la mappa raster delle quote reali del terreno: il raster delle differenze tra DEM e DTM fornisce dunque un'informazione piuttosto precisa del tipo di copertura vegetale della zona in esame, che può essere utilizzata per la definizione delle scabrezze. Per la scelta dei valori numerici da assegnare al coefficiente di scabrezza di Strickler [m^{1/3}/s] per l'alveo inciso e per l'area golenale si è fatto riferimento ai dati di letteratura tecnica. Per maggiore dettaglio, si rimanda agli elaborati della modellazione.

5 METODOLOGIA DI DEFINIZIONE DELLE AREE ALLAGABILI

In base ai livelli idrici massimi calcolati in tutte le sezioni del modello, sono state delimitate le aree di esondazione per lo scenario d'evento del settembre 2006 e per i tempi di ritorno di 50 e 200 anni. Il procedimento seguito consiste, in una prima fase, nell'applicazione del modulo MIKE GIS ai risultati del modello idrodinamico, con il quale è stata operata la sovrapposizione automatica delle superfici idriche al DTM.

Tale elaborazione ha fornito risultati attendibili in ragione del DTM disponibile che, essendo a maglia 0.5x0.5 m, presenta un grado di dettaglio sufficiente per tener conto, nella delimitazione delle aree esondate, della continuità delle arginature e delle discontinuità naturali e infrastrutturali presenti nei settori golenali.

Per l'intera lunghezza dei tratti analizzati sono inoltre state eseguite due procedure di verifica manuale sulle mappe elaborate. Una prima procedura è relativa alla verifica della corrispondenza del limite di esondazione in planimetria e nelle sezioni rilevate relativamente ai livelli idrici di riferimento: si è verificato che il limite della zona soggetta ad allagamento fosse ad una quota pari o superiore al livello del pelo libero calcolato dal modello. La seconda verifica è relativa alla coincidenza dei limiti di esondazione con le discontinuità, antropiche (rilevati stradali ecc.) e geomorfologiche (rami riattivabili, orli di terrazzo, ecc.) esistenti in area golenale. Inoltre la mappatura ottenuta per lo scenario d'evento del settembre 2006 presenta una ottima coerenza con i dati rilevati dalle Autorità competenti sul territorio.



Figura 5-1 Mappa di inondabilità relativa all'evento del 16-17/09/06



Figura 5-2 Confronto tra la mappa di inondabilità relativa all'evento del 16-17/09/06 e l'estensione delle aree interessate dall'esondazione

6 MAPPE DI INONDABILITÀ

6.1 SCENARIO D'EVENTO DEL SETTEMBRE 2006

6.1.1 Alto Aspio



Figura 6-1 Alto Aspio - mappa di esondazione relativa all'evento del 16-17 Settembre 2006

La mappa di esondazione costruita sulla base degli input pluviometrici registrati durante l'evento del 16-17/09/06 presenta esondazioni localizzate in corrispondenza di due zone lungo il corso degli affluenti Piantatelunghe e Boranico, e in destra agli ultimi 500 m circa dell'Aspio. La simulazione prevede che l'esondazione lungo il Piantatelunghe abbia avuto luogo in sponda destra in corrispondenza dell'attraversamento autostradale con tiranti massimi inferiori a 1,5 m: l'area esondata non risulta interessare, se non marginalmente, edifici a destinazione residenziale. Si è anche simulato un deflusso lungo il canale laterale che collega l'affluente all'Aspio, ma con tiranti inferiori a 1 m. In relazione al Boranico, l'area interessata dall'esondazione risulta essere la zona immediatamente a monte dell'insediamento produttivo

posto circa 1 km a valle dell'inizio della tratta. Gli edifici industriali non risultano interessati dalle acque di piena, ma pochi metri a monte di essi si sono simulati tiranti anche dell'ordine dei 2 m. Infine, l'area esondata in sponda destra al termine della tratta studiata presenta tiranti mediamente dell'ordine di 1 m, con massimi intorno a 2 m. In tal caso, però, risultano interessati diversi edifici a destinazione produttiva ed alcuni a destinazione residenziale.

6.1.2 Medio Aspio



Figura 6-2 Medio Aspio - mappa di esondazione relativa all'evento del 16-17 Settembre 2006

Come già descritto nei paragrafi precedenti, l'aderenza dell'estensione dell'area effettivamente interessata dal fenomeno di esondazione del 16-17 Settembre 2006 (come da file vettoriale fornito dal committente) a quella simulata con il modello illustrato nella presente relazione risulta buona, in particolar modo nella zona che ha fatto registrare i danni maggiori in termini economici, ovvero la tratta terminale dello Scaricalasino. Dalla simulazione i tiranti maggiori risultano essere localizzati lunao lo Scaricalasino immediatamente а monte dell'attraversamento della linea ferroviaria, interessando una zona a forte vocazione produttivo/commerciale, con battenti idrici che localmente superano i 3 m.



Figura 6-3 Basso Aspio - mappa di esondazione relativa all'evento del 16-17 Settembre 2006

L'ambito del basso Aspio risulta, dalla nostra modellazione, colpito in maniera estesa dall'evento del Settembre 2006. Il rilevato della linea ferroviaria, in destra orografica rispetto all'Aspio, rappresenta uno sbarramento non superabile dalle acque di piena, mentre l'Autostrada Adriatica, in sinistra, viene sormontata in corrispondenza del cavalcavia di Via Lauretana, comportando così l'allagamento di una vasta porzione di territorio. La zona produttiva servita da Via dell'Artigianato risulta totalmente sommersa dalle acque esondate. La porzione di territorio in sinistra al tratto terminale dell'Aspio risulta poco antropizzata per cui, nonostante l'ampia estensione dell'esondazione, non si hanno molti edifici esposti all'evento.

6.2 EVENTO CON T=50 ANNI

6.2.1 Alto Aspio



Figura 6-4 Alto Aspio - mappa di inondabilità relativa all'evento associato a T=50 anni

L'evento con periodo di ritorno cinquantennale comporta esondazioni tendenzialmente più diffuse rispetto alla simulazione dell'evento del Settembre 2006. A monte della confluenza del Piantatelunghe con l'Aspio l'area racchiusa tra i due corsi d'acqua risulta soggetta ad esondazione, con tiranti mediamente superiori nella zona in destra al Piantatelunghe (generalmente superiori a 1,5 m) rispetto alla sponda sinistra delll'Aspio (in massima parte intorno o inferiori a 1 m). Il deflusso parallelo al breve tratto autostradale tra il Piantatelunghe e l'Aspio risulta soggetto ad allagamento, mettendo a rischio diversi edifici residenziali dell'abitato di Aspio. In corrispondenza della confluenza tra il Marganeto e l'Aspio, in destra a quest'ultimo, si registra un'esondazione localizzata ma con battenti idrici generalmente superiori a 1,5 m: risultano interessati diversi edifici residenziali e viene lambita dalle acque un'area produttivo/commerciale. Il Boranico presenta esondazioni diffuse lungo il segmento centrale del

tratto studiato: sia in destra sia in sinistra si prevedono tiranti mediamente inferiori a 1 m, che però possono interessare edifici residenziali e produttivi. Infine, la zona terminale del tratto risulta interessata sia in destra sia in sinistra dal deflusso fuori alveo delle acque di piena, pur con battenti idrici modesti e senza minacciare insediamenti.



6.2.2 Medio Aspio

La mappa relativa all'evento associato a T=50 anni per l'ambito del medio Aspio presenta esondazioni diffuse su entrambe le sponde lungo tutto il tratto dell'Aspio, con estensioni trasversali che raggiungono i 500 m circa in sponda destra nel tratto in corrispondenza della confluenza con lo Scaricalasino. In tale area il rilevato della linea ferroviaria svolge un'azione di sbarramento delle acque fuori alveo: di conseguenza, risultano interessati in massima parte gli edifici e le infrastrutture comprese nella fascia tra l'Aspio e la via ferrata. Una funzione simile viene svolta in sponda sinistra dal rilevato relativo all'Autostrada Adriatica, per cui le acque di piena generalmente, a parte alcune eccezioni localizzate, non interessano le zone oltre tale linea. A causa dell'esondazione del Betelico, invece, anche a monte dell'autostrada si registrano vaste aree a rischio di allagamento: in particolare, la zona compresa tra il Betelico e la via direttissima del Conero, in sponda destra all'affluente.

6.2.3 Basso Aspio



Figura 6-6 Basso Aspio - mappa di inondabilità relativa all'evento associato a T=50 anni

L'area interessata dall'evento cinquantennale risulta pressoché analoga a quella colpita dall'evento del Settembre 2006. Tendenzialmente, si registrano tiranti superiori nel caso di T=50 anni ma senza differenze sostanziali, se non localmente.

6.3 EVENTO CON T=200 ANNI

6.3.1 Alto Aspio



Figura 6-7 Alto Aspio - mappa di esondazione relativa all'evento associato a T=200 anni

La simulazione relativa all'evento associato al tempo di ritorno duecentennale presenta esondazioni diffuse lungo la quasi totalità del reticolo idrografico in esame. Oltre alle zone già interessate da fenomeni di esondazione per l'evento con T=50 anni, le quali presentano in questo caso tiranti superiori anche del 50 %, risultano soggette ad allagamento la sponda destra del Marganeto, la sponda destra dell'Aspio a partire dall'attraversamento della SS16 sino al termine del tratto e la sponda sinistra dell'Aspio a valle della frazione di Umbriano. Il deflusso di piena per tale evento comporta dunque una situazione di rischio da esondazione, oltre alle zone già individuate per l'evento cinquantennale, anche per l'area a sud di Baraccola sino alla sponda sinistra dell'Aspio, a prevalente destinazione produttivo/commerciale, per l'abitato di

Aspio Terme (con tiranti anche superiori a 2 m) e per l'area produttivo/commerciale al termine del tratto in sinistra.

6.3.2 Medio Aspio



Figura 6-8 Medio Aspio - mappa di esondazione relativa all'evento associato a T=200 anni

La mappa di esondazione relativa all'evento duecentennale presenta generalmente estensione analoga o simile a quella per l'evento cinquantennale, ma con tiranti superiori. Le eccezioni principali sono rappresentate dal tratto compreso tra la confluenza dei due corsi d'acqua che originano lo Scaricalasino e l'attraversamento della Via Adriatica (affiancata dalla linea ferroviaria), dalla sponda destra del Rigo tra l'attraversamento di Via della Stazione e quello della linea ferroviaria e, infine, la sponda sinistra del Betelico a monte dell'Autostrada Adriatica. Nel primo caso (tratta dello Scaricalasino) le acque di piena interessano alcuni edifici residenziali isolati e l'area a destinazione industriale di Via Industria, in sinistra, e Via Pastore, in destra, quest'ultima zona interessata da tiranti localmente superiori a 2 m. In destra al Rigo, risultano a rischio di allagamento alcuni edifici a carattere industriale non interessati dall'evento cinquantennale. La sponda sinistra del Betelico presenta il maggior incremento di area esondata rispetto all'evento a tempo di ritorno inferiore. Risulta infatti interessata dalle acque di

piena la zona a monte dell'Autostrada Adriatica sino al cavalcavia di Via Piani d'Aspio, ponendo a rischio numerosi edifici abitativi.

6.3.3 Basso Aspio



Figura 6-9 Basso Aspio - mappa di esondazione relativa all'evento associato a T=200 anni

Anche la mappa relativa all'evento duecentennale sul basso Aspio non presenta incrementi areali sostanziali rispetto alla mappa associata a T=50 anni. L'aumento dei tiranti non risulta particolarmente consistente: l'aumento tendenzialmente maggiore si rileva in sponda sinistra a valle dell'attraversamento dell'Autostrada Adriatica, dove il valore dei battenti idrici presenta un incremento di circa il 20 % rispetto all'evento cinquantennale.

7 CONCLUSIONI

Lo studio eseguito ha permesso con la simulazione dell'evento del settembre 2006 di calibrare il modello idraulico proposto come primo step per la modellazione delle aree inondabili.

I risultati sono un primo prodotto che potrà essere utilizzato con successive verifiche del network idraulico del modello proposto, per scopi di pianificazione e gestione del territorio considerando la simulazione dell'evento del 2006 come una prima calibrazione del modello stesso.

I risultati indicano comunque una forte criticità per tutta l'asta presa in esame che è interessata da fenomeni di esondazione significativa già per eventi con tempi di ritorno superiori o eguali a 50 anni.

La carenza di dati di pioggia spazialmente distribuita sul territorio in esame non permette di poter simulare in modo coerente eventi fortemente localizzati e quindi anche la parte di modellazione idrologica qui proposta potrà essere oggetto di ulteriori approfondimenti per studi di opere specifiche.

Vanno di conseguenza ricordate le cautele con le quali i risultati del presente rapporto possono essere utilizzati. Il rapporto è di utilità per il processo di pianificazione illustrato dai funzionari regionali nella riunione del 14 e 15 ottobre 2008.

Esso tuttavia non è, e non deve essere, utilizzato come progetto idrologico - idraulico definitivo delle opere o in generale delle realizzazioni e del sistema di vincoli territoriali.

Per gli interventi puntuali è necessaria una scala di indagini di maggior dettaglio insieme ad alcuni approfondimenti dell'input idrologico.

Per quanto riguarda l'idrologia delle precipitazioni estreme nel bacino dovrebbe essere più approfonditamente indagata la correlazione tra le precipitazioni osservate nei diversi pluviometri, al fine di pervenire alla caratterizzazione in termini di probabilità di superamento delle curve di possibilità pluviometrica ragguagliate dell'area.

Pertanto le connotazioni del periodo di ritorno associati agli ietogrammi di progetto e agli idrogrammi consegnati debbono essere intesi come una stima approssimata.

Esse potrebbero essere meglio lette intendendo il periodo di ritorno evidenziato costituire il limite inferiore delle stime, e pertanto cautelativo.

8 BIBLIOGRAFIA

- Arcement G.J., Schneider V.R., *Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains* U.S. Geological Servey, Paper 2339, 1989.
- Marchi E., Rubatta A., *Meccanica dei fluidi Principi e applicazioni idrauliche*, UTET, 1981
- Regione Marche, Giunta Regionale. L'ambiente fisico delle Marche: geologia, geomorfologia, idrogeologia. SELCA srl., 1991.
- Bras, R.L., *Hydrology, an Introduction to Hydrology Science*, Addison-Wesley Publishing Company, 1990.
- Kottegoda, N.T., R. Rosso, *Probability and Reliability for civil and environmental Engineers*, Mc Graw Hill International Edition Civil Engineering Series, 1997.
- Rodriguez Iturbe, I., M.Marani, R. Rigon, A. Rinaldo, *Self-organized river basin landscape: Fractal and multifractal characteristics*, Water Resour. Res.,, 30(12), 3531 3539, 1994.
- G. Roth, P. La Barbera, M. Greco, *On the description of the basin drainage structure*, J. Hydrol,, 187, 119 135, 1996.
- Giannoni, F., G. Roth, and R. Rudari, *A Semi Distributed Rainfall Runoff Model Based* on a Geomorphologic Approach, Physics and Chemistry of the Earth, 25/7-8, 665-671, 2000.
- Giannoni, F., Roth G., and Rudari, R., *A procedure for drainage network identification from geomorphology and its application to the prediction of the hydrologic response*, Advances in Water Resources, 28, 6, 567-581, 2005.
- Mc Cuen, R.H., A guide to hydrologic analysis using SCS methods, Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, INC, 1982.
- Rossi F., Fiorentino M., e Versace P.; *Two component extreme value distribution for flood frequency analysis*, Water Resources Research, 20(7), 847-856, 1984.
- Fiorentino V., Gabriele S., Rossi F., e Versace P., *Hierarchical approach for regional flood frequency analysis*, in V. P. Singh (eds), Regional flood frequency analysis, 35-49, D. Reidel, Norwell, Mass, 1987.
- Versace P., Ferrari E., Gabriele S. and Rossi F. (1989) Valutazione delle piene in Calabria, IRPI-CNR, Geodata, Cosenza.