

# MAPPATURA DELLE AREE A RISCHIO DI INONDAZIONE FINALIZZATA ALLA GESTIONE DELL'EMERGENZA

## SOMMARIO

La memoria propone una metodologia per la realizzazione di una cartografia del rischio di inondazione e dei relativi scenari, pensata come strumento di supporto alla gestione delle attività di protezione civile. L'individuazione degli elementi a rischio si basa su un approccio multidisciplinare che utilizza informazioni storiche combinate all'analisi geomorfologica ed idraulica. La metodologia è stata applicata al fiume Sesia ed ha previsto tre fasi di indagine.

Nella prima fase è stata condotta un'analisi dei principali eventi alluvionali che ha portato alla ricostruzione dei campi di inondazione, dei processi e degli effetti associati. A tale fine sono state utilizzate fotografie aeree, documenti storici d'archivio ed informazioni ricavate da interviste in loco.

La seconda fase ha portato all'individuazione della morfologia dell'alveo e della sua tendenza evolutiva nell'ultimo secolo ed al riconoscimento delle caratteristiche fisiografiche della fascia esterna all'alveo che influenzano la dinamica delle piene maggiori.

La terza fase ha riguardato la determinazione dei franchi idraulici dei ponti e degli argini attraverso il calcolo dei profili idrici di una piena con tempo di ritorno 20 e 200 anni.

Attraverso l'integrazione dei risultati ottenuti, si sono definiti gli scenari di rischio relativi a piene con diversi livelli di pericolosità.

## ABSTRACT

The present paper proposes a method for the realisation of maps concerning inundation risk and related scenarios as the base of civil protection activities. The approach used to point out elements subject to inundation risk is based on the combination of historical data with geomorphologic and hydraulic analysis. The method was applied to River Sesia and required three investigation phases. An analysis on the main flood events was carried out in the first phase, providing the reconstruction of historical inundation fields, hydraulic processes and induced effects. To achieve this goal, air photography, historical databases sources and elements arose from local interviews were used. The second phase brought to point out the trend followed by the river channel in the last century and it also allowed to enhance those morphologic elements at its sides that condition main flood events. The third phase concerned the definition of the free boards for bridges and river banks through hydraulic profiles related to floods with a return time of 20 and 200 years. Eventually, the risk scenarios related to floods with different hazard levels were determined combining all the final results.

## 1. INTRODUZIONE

Nell'ambito di FLOODAWARE la Regione Piemonte e la Società Risorse Idriche srl di Torino hanno avviato la sperimentazione di un sistema di preannuncio delle piene in tempo reale in un bacino piemontese.

Il progetto prevede l'implementazione di un modello di previsione delle piene e l'organizzazione di un centro operativo che effettua il preannuncio.

Ad esso si affianca la realizzazione di una carta del rischio di inondazione pensata come strumento di supporto alla previsione delle piene e alla pianificazione dei soccorsi. Infatti l'organizzazione delle risorse umane e dei mezzi riveste un'importanza fondamentale nell'efficacia degli interventi. Attraverso questa carta gli organismi preposti alla gestione dell'emergenza possono individuare le aree critiche su cui intervenire e le misure di protezione civile da porre in atto in relazione alla pericolosità della piena prevista.

Nel presente lavoro vengono illustrate le modalità con cui è stata realizzata la carta del rischio ed i suoi contenuti.

## 2. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

Il corso d'acqua oggetto dell'analisi dei rischi è il Fiume Sesia, affluente alpino del Po. Il Sesia nasce sul monte Rosa ed ha un bacino imbrifero di 3100 kmq (fig. 1). I contributi principali li riceve dal T. Sessera a valle di Borgosesia e dal T. Cervo (bacino di 1088 kmq) appena a monte di Vercelli. Nel Sesia confluiscono altresì buona parte degli scoli provenienti dal territorio della pianura vercellese.

L'asta del Sesia oggetto dell'analisi dei rischi riguarda il tratto che va da Borgosesia alla confluenza con il T. Cervo.

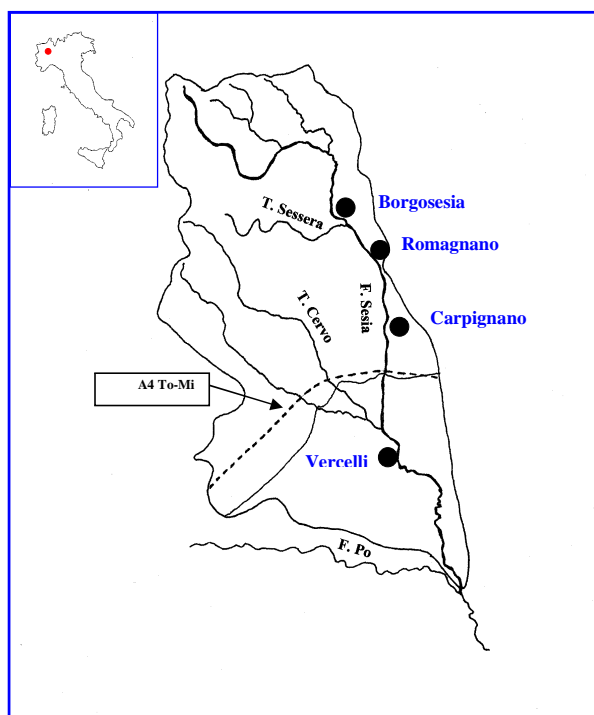


Figura 1 : bacino idrografico del F. Sesia

### 3. ANALISI STORICA

#### 3.1. Piene storiche principali

I principali eventi che nell'ultimo secolo hanno interessato il bacino idrografico sono i seguenti: maggio 1908, maggio 1923, agosto 1934, settembre 1948, agosto 1954, novembre 1968, ottobre 1977, agosto 1978, settembre 1993, novembre 1994.

Nel tratto montano la massima piena di cui sia nota la portata è relativa al settembre 1948. A Borgosesia (ponte Aranco - 695 kmq) fu misurata una portata al colmo di 3070 mc/s a cui corrisponde un contributo specifico considerevole (4,4 mc/s per kmq).

A Vercelli (2274 kmq) il massimo storico transitò nel novembre 1968 con 3900 mc/s (1,7 mc/s per kmq). Nella tabella I sono riportati alcuni dei massimi storici.

Tabella I: piene storiche e relativi livelli idrometrici del F. Sesia

sezione di Misura	agosto 1934		sett. 1948		nov. 1968		sett. 1993		nov. 1994	
	Q mc/s	h (m)	Q mc/s	h (m)	Q mc/s	h (m)	Q mc/s	h (m)	Q mc/s	h (m)
Borgosesia	2990	7.5	3070	7.9	2150	6.8	2400	5.05	1800	3.37
Vercelli	2970	6.4	-	-	3900	6.9	3400*	5.68*	3200*	5.65*

\* stazione di Palestro (immediatamente a valle di Vercelli)

Per un confronto di questi dati con portate di piena di assegnato tempo di ritorno, si fa riferimento ai valori riportati nel «Piano Stralcio per la difesa idrogeologica e della rete idrografica nel bacino del Po» (Autorità di Bacino del Fiume Po -1997) e riportati nella tabella II.

Tabella II: portate di assegnato tempo di ritorno del F. Sesia

sezione di chiusura	TR 20 anni		TR 200 anni	
	Q (mc/s)	q(mc/s kmq)	Q (mc/s)	q mc/s kmq)
Borgosesia	2730	3.93	4220	6.07
Vercelli	3370	1.48	4900	2.15

Dal confronto delle tabelle I e II si evince che la piena del novembre 1968 è stata caratterizzata da un tempo di ritorno abbondantemente superiore ai 20 anni ad esclusione del tratto montano. La portata misurata a Borgosesia, sebbene sia stata relativamente contenuta, si è comunque tradotta in un livello idrometrico notevole (6.8 m a Borgosesia ponte Aranco, contro i 5.05 m nel 1993). In quell'occasione i contributi del T. Sessera che confluisce in Sesia a valle della sezione di misura di Borgosesia furono molto elevati.

Invece le piene dell'agosto 1934 e settembre 1948 furono caratterizzate da tempi di ritorno superiori ai 20 anni nella parte alta del bacino. La piena del settembre 1993 ha avuto nel complesso un tempo di ritorno di circa 20 anni.

#### 3.2. Processi ed effetti

I processi legati alle piene storiche ed i relativi effetti sono stati ricostruiti attraverso le informazioni provenienti dall'interpretazione delle fotografie aeree relative ai maggiori eventi alluvionali ( 1954, 1968, 1977, 1993) (Ramasco M. , Giampani C. 1997). L'analisi fotointerpretativa ha portato al riconoscimento dei campi di inondazione e degli effetti indotti dalle piene (danni alle opere, erosioni, tracimazioni, rotte arginali). In particolare lo studio

della piena del 1968 ha messo in evidenza come la morfologia fluviale relitta abbia fortemente influenzato la distribuzione dei deflussi; in quella occasione i livelli di energia raggiunti dalla corrente nella fascia marginale all'alveo attivo sono stati maggiori in corrispondenza delle forme fluviali relitte che, dipartendosi dall'alveo con andamento sinuoso, percorso grandi distanze. Effetti significativi della piena, dunque, si possono ripercuotere su aree anche molto lontane dal corso d'acqua, talora occupate da insediamenti e infrastrutture.

A questi dati, di tipo areale, si aggiungono informazioni puntuali provenienti dalla Banca Dati Geologica (Sistema Informativo Geologico della Regione Piemonte) sotto forma di schede. Le informazioni contenute in Banca Dati, sono state integrate con notizie reperite presso gli Archivi di Stato, gli archivi comunali e in loco attraverso interviste laddove non risultavano sufficientemente esaustive.

Al fine di avere una visione d'insieme sia spaziale che temporale dei danni, tutti questi dati sono stati rappresentati sulla Carta Tecnica Regionale suddivisi in categorie (fig. 2).

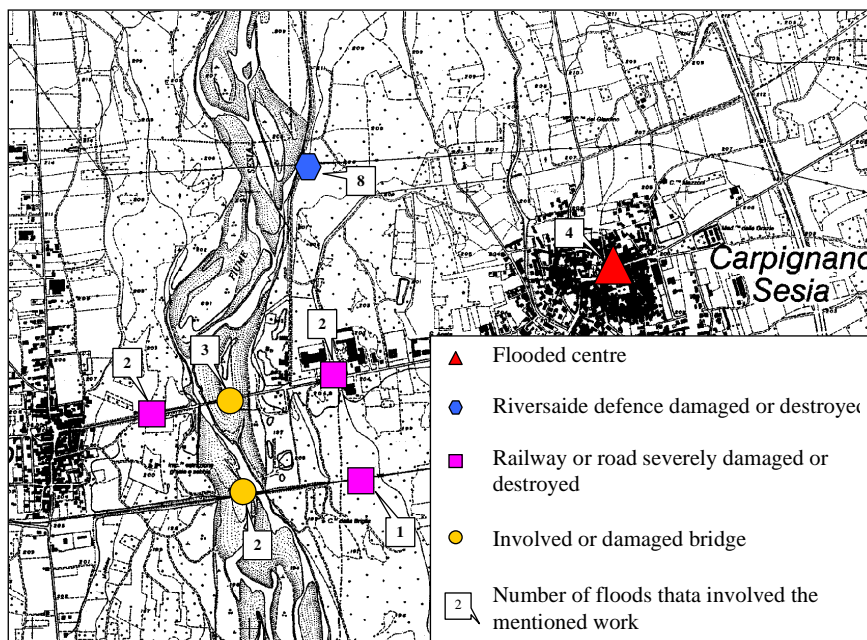


Figura 2 : carta di sintesi dei danni

## 4. ANALISI GEOMORFOLOGICA

### 4.1. Morfologia fluviale

Il F. Sesia, da Borgosesia a Romagnano si sviluppa in un settore montano dove scorre in una pianura intravalliva non molto larga la cui espansione è condizionata dalle pendici dei rilievi che formano due importanti strettoie a Borgosesia e Romagnano. Sia nel tratto intravallivo che nel successivo tratto di pianura, il fiume, caratterizzato da un alveo-tipo pluricursale, incide una serie di degradanti terrazzi alluvionali. Su queste superfici si sviluppano i maggiori centri urbani e qui si colloca la maggior parte delle attività industriali e agricole. In questo tratto le uniche opere di difesa presenti sono quelle a protezione delle sponde.

A sud di Romagnano, in sponda destra, si riconosce un elemento morfologico caratteristico costituito da un lungo terrazzo continuo, di altezza variabile tra i 4 e i 7 metri sulla piana

alluvionale sottostante, che si interrompe a sud di Greggio. In sponda sinistra, invece, la morfologia è meno marcata, i terrazzi presentano scarpate discontinue con altezze dell'ordine del metro e superfici caratterizzate da antiche morfologie fluviali. Questi caratteri si riconoscono fino a Vercelli.

Nel tratto di pianura, a valle di Romagnano le opere di difesa sono rappresentate da un sistema di argini pressoché continui su entrambe le sponde e in opere di protezione spondale localizzate nei punti più critici. (Ramasco M., Giampani C., 1997).

#### 4.2. Tendenza evolutiva

Insieme all'analisi delle piene passate, è importante individuare il trend evolutivo dell'alveo per poter riferire le informazioni storiche all'assetto attuale del corso d'acqua.

Il confronto dei limiti dell'alveo del Sesia del 1882 con quello del 1994 ha indicato una generale riduzione della sua sezione in quest'ultimo secolo. In particolare, lo studio condotto sulle modificazioni dell'alveo attivo del F. Sesia dal 1954 al 1994, ha evidenziato una generale tendenza al restringimento dell'alveo caratterizzata dall'innesco di processi erosivi di fondo che possono indurre pesanti conseguenze sulla stabilità delle opere in alveo (Ramasco M., Giampani C., 1997).

Al fine di definire con maggiore precisione le variazioni planoaltimetriche del F. Sesia, nell'ambito di questo lavoro, si sono confrontate le sezioni trasversali d'alveo misurate in anni diversi e i corrispondenti livelli idrometrici per piene di riferimento. Le sezioni disponibili sono quelle misurate dal Magistrato per il Po nel 1971 nel tratto da Romagnano all'autostrada Torino-Milano (n. 11), nel 1992 da Romagnano al T. Cervo (n. 59). Inoltre, per comprendere la tendenza evolutiva dell'alveo dopo il 1992, nel 1997 sono state appositamente rilevate 6 sezioni.

Il confronto delle sezioni nel tratto da Romagnano all'autostrada To-Mi ha messo in evidenza un generale aumento della sezione di deflusso dell'alveo in conseguenza all'asportazione di grandi quantitativi di materiale alluvionale dal 1971 al 1992.

Tale tendenza è confermata dalla comparazione dei livelli idrometrici per piene di riferimento. Per una piena con tempo di ritorno 20 anni, il livello raggiunto nelle sezioni del 1992 è generalmente inferiore di 0,5-1 m rispetto a quello delle sezioni del 1971 (un esempio significativo è riportato nella fig.3). Questi livelli sono stati calcolati tramite il modello idraulico che simula la propagazione idrodinamica della piena nell'ambito del sistema di preannuncio (schematizzazione monodimensionale).

Nello stesso tratto, il confronto delle sezioni del 1992 e 1997 mostra invece una tendenza inversa volta al ripascimento dell'alveo (fig.4).

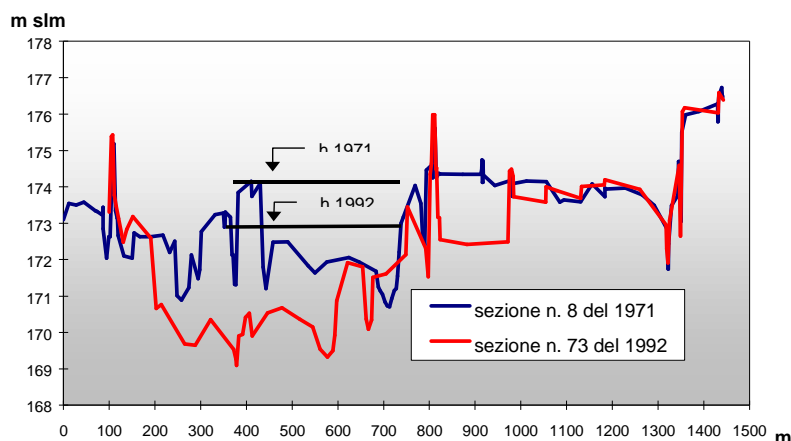


Figura 3: sezioni di confronto 1971-1992 del F. Sesia a monte autostrada TO-MI e livelli idrometrici per una piena con tempo di ritorno 20 anni

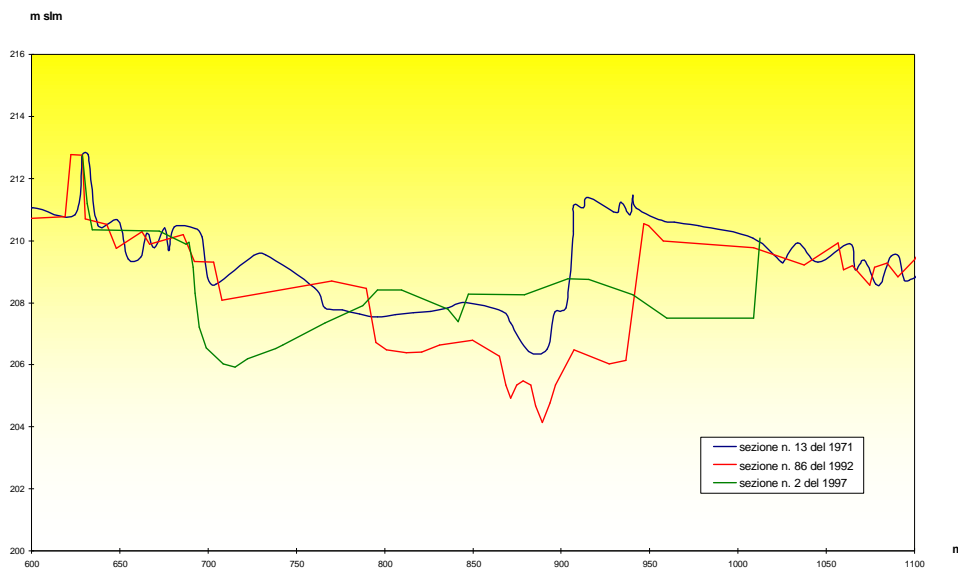


Figura 4: sezioni di confronto 1971-1992-1997 del F. Sesia a monte di Carpignano

Da Borgosesia a Romagnano e dall'autostrada To-Mi al T. Cervo non è stato possibile fare alcuna considerazione in merito per la mancanza di sezioni di confronto.

Dal 1971 al 1992 nei tratti esaminati vi è stata una tendenza generale all'aumento della capacità di deflusso del corso d'acqua, mentre gli attuali indizi sembrano indicare un fenomeno opposto dopo il 1992. Pertanto si può ipotizzare che nel caso si ripettesse un fenomeno di portata analoga a quella del 1968, l'inondazione potrebbe ripercuotersi sulle stesse aree provocando danni ancora maggiori, considerato che l'occupazione antropica di queste ultime è aumentata.

## 5. RISCHIO DI INONDAZIONE

Nell'ambito del sistema di preannuncio delle piene citato in premessa, gli eventi alluvionali previsti vengono suddivisi in due classi di pericolosità. La prima classe è relativa ad una piena con tempi di ritorno fino a 20 anni e ad essa si associa un "codice di attenzione 2", la seconda è relativa ad una piena con tempi di ritorno superiori e "codice di attenzione 3".

La valutazione del rischio viene effettuata in relazione a questi due livelli di pericolosità in modo tale da poter associare al preannuncio della piena, il relativo scenario di rischio.

Innanzitutto sono state perimetrate le aree inondabili con codice di attenzione 2 e 3. In seguito sono state individuate le opere a rischio di allagamento suddividendole in base alla tipologia: insediamenti civili, industriali, infrastrutture, viabilità.

Per i due livelli di pericolosità sono stati individuati i ponti e le opere idrauliche vulnerabili (difese spondali soggette ad erosione, tratti arginali a maggior probabilità di rotta, punti di sormonto). Sono stati riconosciuti i rilevati stradali che costituiscono un impedimento al deflusso della piena e le opere di presa dei canali di derivazione per i quali l'immissione di portate incontrollate comporta rischi di inondazione ai centri abitati posti a valle.

Tutte queste informazioni sono rappresentate in una cartografia alla scala 1:10.000 (fig.5) accompagnate da tabelle esplicative (fig. 6).



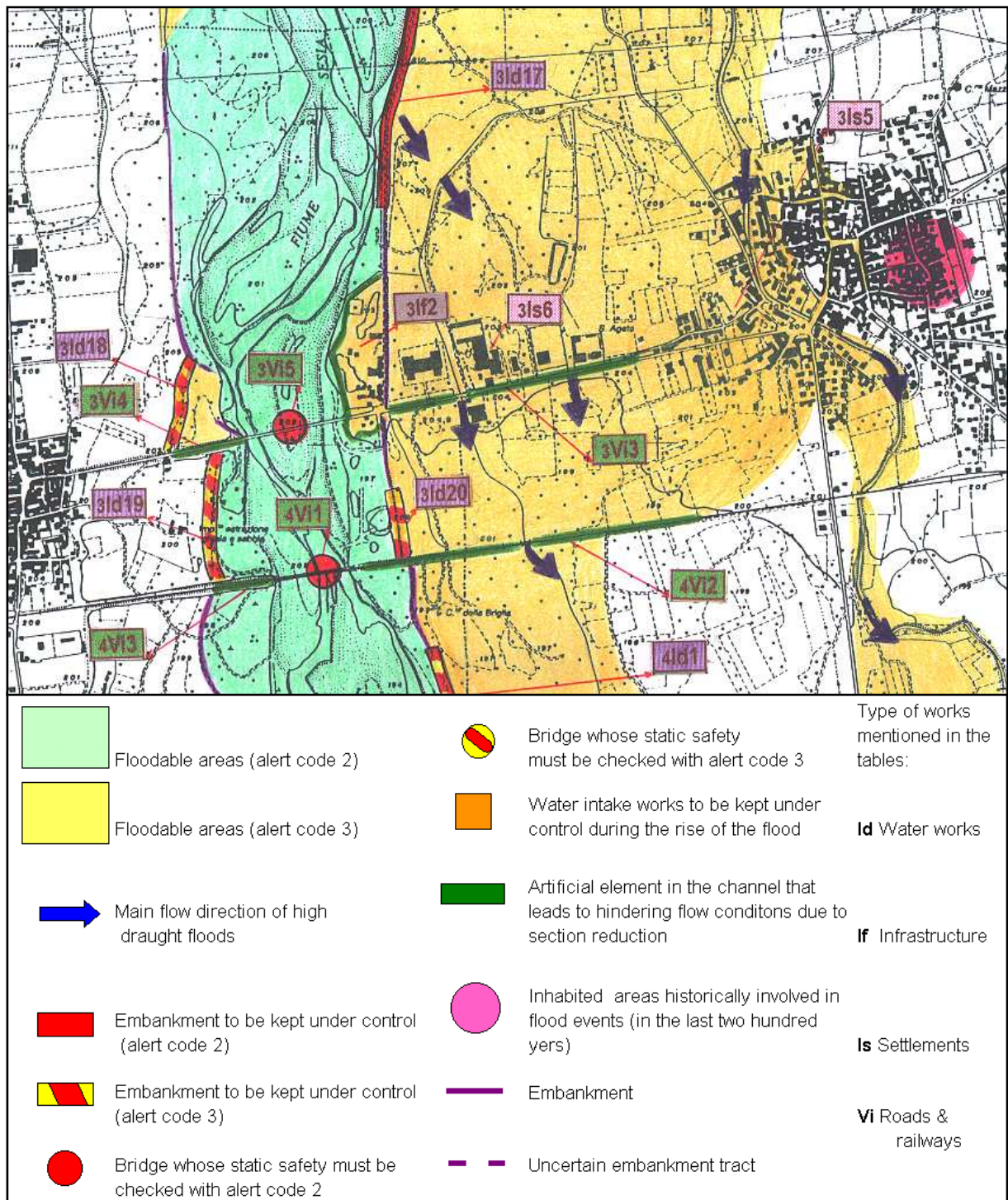


Figura 5 : carta del rischio di inondazione

BRANCH IDENTIFICATION INDEX	COMUNE	PLACE	RIVERSIDE	TYPE	WORK DESCRIPTION	ALERT CODE	DESCRIPTION
3 Is5	Carpignano	inhabited area	left	settlements	civil	3	high water level due to overflow in Cavo Busca
3 Vi3	Carpignano	Provincial Route Ghislarengo-Carpignano	left	roads & railways	road bed	3	erosion corresponding to canal subways. These works hinder flood flow.
4 Vi2	Carpignano	Biella-Novara railway	left	roads & railways	ballast	3	possible erosions. The ballast hinders flood flow
3 Id17	Carpignano/ Ghislarengo	upstream industrial area	left	water works	embankment	2	embankment erosion
3 Id17	Carpignano/ Ghislarengo	upstream industrial area	left	water works	embankment	3	breach
3 Is6	Carpignano/ Ghislarengo	industrial area between Sesia River and Sant'Agata	left	settlements	industrial	3	allagamento con elevati tiranti idrici high water level
3 If2	Ghislarengo	quarry	left	infrastructures	quarry	2	the quarry hinders flood flow
3 If2	Ghislarengo	quarry	left	infrastructures	quarry	3	flood
3 Vi3	Ghislarengo	Provincial Route Ghislarengo-Carpignano	left	roads & railways	road bed	3	erosion corresponding to canal subways. These works hinder flood flow.
3 Vi4	Ghislarengo	Provincial Route Ghislarengo-Carpignano	left	roads & railways	road bed	3	road bed erosion. The road bed hinders flood flow
3 Vi5	Ghislarengo	Provincial Route Ghislarengo-Carpignano		roads & railways	road bridge	2	lacking of an adequate free board/ bridge piers erosion
3 Vi5	Ghislarengo	Provincial Route Ghislarengo-Carpignano		roads & railways	road bridge	3	overflow
3 Id18	Ghislarengo	upstream road bridge	right	water works	embankment	3	overflow
3 Id19	Ghislarengo	between road and railway bridges	left	water works	embankment	3	breach
3 Id20	Ghislarengo	between road and railway bridges	right	water works	embankment	3	breach
4 Vi1	Ghislarengo	Biella-Novara railway		roads & railways	railway bridge	2	erosions localized on foundation works
4 Vi1	Ghislarengo	Biella-Novara railway		roads & railways	railway bridge	3	lacking of an adequate free board
4 Vi2	Ghislarengo	Biella-Novara railway	left	roads & railways	ballast	2	possible erosions. The ballast hinders flood flow
4 Vi3	Ghislarengo	Biella-Novara railway	right	roads & railways	ballast	2	possible erosions. The ballast hinders flood flow
4 Id1	Ghislarengo	downstream	left	water works	embankment	3	breach
4 Is1	Sillavengo	Cne. Gianotti	left	settlements	civil	3	flooding by overflow of roggia Falsina

Figura 6: tabella degli scenari associata alla carta del rischio



### **5.1. Aree inondabili**

La perimetrazione delle aree inondabili è stata ottenuta a partire dai campi di inondazione delle piene storiche integrati con informazioni su danni puntuali e considerazioni di natura morfologica.

L'area inondabile con codice di attenzione 2 è stata fatta corrispondere alla fascia allagata durante la piena del 1993 con estensione fino agli argini laddove sono continui; il deflusso della piena avviene prevalentemente all'interno dell'alveo inciso con possibilità di riattivazione dei canali secondari più prossimi al corso d'acqua e inondazione delle aree limitrofe più depresse. Solo localmente sono previsti effetti sulle strutture e infrastrutture prospicienti l'alveo.

L'area inondabile per piene a cui è associato il codice 3 deriva dall'involuppo della fascia occupata dall'acqua nell'alluvione 1968 con l'alveo del 1882; i limiti sono stati ulteriormente estesi laddove la "carta di sintesi dei danni" contiene segnalazioni di danni frequenti. La fascia inondabile con codice di attenzione 3, in alcuni tratti, è molto ampia in quanto tiene conto della riattivazione di morfologie relitte o di fenomeni di propagazione incontrollata delle portate attraverso i canali artificiali di derivazione.

### **5.2. Vulnerabilità delle opere idrauliche**

La localizzazione dei tratti d'argine a maggior rischio di rottura è stata effettuata in base alle informazioni storiche sulle rotte arginali (notizie relative a danni o fotografie aeree che ne documentano gli effetti) e all'attuale stato di adeguatezza e manutenzione degli argini. Lo stesso criterio è stato applicato per individuare le opere di difesa più vulnerabili all'erosione.

I tratti arginali a rischio di sormonto sono stati individuati con l'analisi idraulica: confronto quota sommitale argine con i profili idraulici di due piene prese come riferimento. All'evento con pericolosità più bassa è stata associata la piena con tempo di ritorno 20 anni, a quello maggiore la piena con tempo di ritorno 200 anni.

I profili idraulici sono stati calcolati tramite il modello che simula la propagazione idrodinamica della piena nell'ambito del sistema di preannuncio (schematizzazione monodimensionale con rappresentazione dell'alveo tramite le sezioni topografiche del 1992 integrate alle sezioni dei ponti).

### **5.3. Vulnerabilità delle opere di attraversamento**

Il grado di sicurezza statica dei ponti, riferita allo scalzamento delle fondazioni, è stato valutato in base all'efficienza delle opere di protezioni ed all'entità dei fenomeni di erosione in atto. L'abbassamento generalizzato del fondo alveo, descritto sopra, è particolarmente evidente in corrispondenza dei ponti; spesso i plinti di fondazione presentano fenomeni di sottoscavazione che in condizioni di piena possono pregiudicare la sicurezza statica dell'opera stessa.

Il grado di sicurezza dei ponti, riferita all'azione dinamica della corrente sull'impalcato, è stato valutato tramite confronto dei profili di piena con la quota di intradosso del ponte.

## 6. CONCLUSIONI

La mappatura delle aree a rischio di inondazione è avvenuta essenzialmente tramite informazioni di natura storica ed analisi geomorfologica. In particolare sono state utilizzate le informazioni derivanti dalla fotointerpretazione delle principali piene degli ultimi 50 anni. La possibilità di disporre di fotografie aeree che documentano piene significative, pochi giorni dopo l'evento, ha permesso di evitare di dover fare ricorso a modellistiche idrauliche di tipo bidimensionale. Il loro utilizzo richiede sicuramente un oneroso lavoro di implementazione e calibrazione ed è comunque subordinato alla conoscenza approfondita del corso d'acqua, sia in termini geometrici (rilievi d'alveo) che idraulici (scabrezze).

Il lavoro, che attualmente ha riguardato solo il tratto di F. Sesia che va da Borgosesia fino alla confluenza con il T. Cervo, potrebbe essere esteso fino alla confluenza Po. In questo tratto l'alveo-tipo pluricursale cede il passo ad un unicursale che si sviluppa poco incassato in una zona di pianura con morfologie relitte non molto marcate. La mancanza di copertura aereofotogrammetrica a documentazione di una piena particolarmente gravosa in questo tratto implica un approccio diverso. Si potrebbe, per esempio, condurre un sistematico ed attento esame dei documenti storici e di archivio soprattutto per quel che concerne i centri abitati, integrato ad uno studio fotointerpretativo delle principali forme fluviali relitte ed alla consultazione delle cartografie storiche. Oppure si potrebbe applicare un modello idraulico di propagazione della piena con una schematizzazione bidimensionale del fenomeno.

In generale quindi, risulta evidente che ogni qualvolta si deve affrontare il problema della individuazione delle aree a rischio di inondazione si deve valutare caso per caso l'approccio più adatto alla situazione, in funzione sia del contesto territoriale in cui si opera, sia delle basi conoscitive di cui si può disporre.

## BIBLIOGRAFIA

Anselmo V., Turitto O (1985). «Criteri adottati per la definizione delle aree allagabili nel territorio piemontese» *Da rassegna della Protezione Civile*, n. 11/12, 65.

Autorità di Bacino del Fiume Po (1997). «Allegato 6.8» *Piano Stralcio per la difesa idrogeologica della rete idrografica nel bacino del fiume Po*, Parma

Caroni E., Maraga F. & Turitto O (1990). «La delimitazione di aree soggette a rischio di inondazione: Un approccio multidisciplinare» *Atti del XXII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, Cosenza, 4-7 Ottobre, 1990, 9-21

Gabriele S. Petrucci O. (1996). «Una metodologia per la perimetrazione delle aree a rischio di inondazione nelle aste terminali delle fiumare calabre» *Atti del XXV Convegno di idraulica e costruzioni idrauliche 1996*, Torino, 6-18 Settembre 1996, 171-181

Govi M., Turitto O. (1994) «Problemi di riconoscimento delle fasce di pertinenza fluviale» *Atti del 4° Convegno Internazionale di Geingegneria Difesa e valorizzazione del suolo e degli acquiferi «Il territorio»*, Torino, 10-11 Marzo, 1994.

Maraga F. (1990) «Delimitazioni di aree inondabili secondo criteri geomorfologici» *Memorie della Società Geologica Italiana*, 45 (1990), 247-252, 3 ff., 3 tavv.

Maraga F. (1991) «Riduzione del campo di attività fluviale e disponibilità di sedimento nei tratti d'alveo pluricursali: casi di studio nella pianura padana» *Atti del Congresso "Fenomeni di erosione e alluvionamenti degli alvei fluviali"*, Ancona, 14-15 Ottobre, 1991, 51-62.

Menduni G. (1995) «La delimitazione delle aree di pertinenza fluviale: un caso di studio in Toscana» *Atti del corso di aggiornamento 1995 'La sistemazione dei corsi d'acqua naturale' - Politecnico di Milano*, ed. BIOS

Ministero dei Lavori Pubblici - Magistrato per il Po (1990) «Piano di Bacino idrografico del F. Sesia»

Ramasco M. , Giampani C. (1997) «Analisi comparata dell'evoluzione storica dell'alveo del fiume Sesia e delle piene del novembre 1968 e settembre 1993 finalizzata alla prevenzione degli effetti indotti da eventi alluvionali» *Quaderno n. 8 - Regione Piemonte Struttura Studi e Ricerche Banca Dati Geologica - Biella*