

2.7 Le piene fluviali

2.7.1

Introduzione

Le analisi morfologiche sui corsi d'acqua, condotte dal Centro Regionale per gli Studi Territoriali e Geologici di Arpa Piemonte, sono volte soprattutto a fornire un quadro della dinamica evolutiva ed in atto dei corsi d'acqua principali, prevedendo le tendenze future sulla base delle variazioni morfologiche avvenute. Le attività condotte sono essenzialmente il rilevamento morfologico (fotointerpretazione e rilievi di terreno) e gli studi diretti in occasione di eventi di piena per la produzione di carte tematiche volte alla classificazione dell'inondabilità ed all'individuazione delle aree a rischio.

L'Area Previsione e Monitoraggio Ambientale di Arpa Piemonte, attraverso il proprio Centro Funzionale, fornisce un servizio continuativo di previsione delle portate dei principali corsi d'acqua del reticolo idrografico piemontese che consente di prevedere in anticipo l'instaurarsi di condizioni di rischio idraulico, di emettere bollettini previsionali ed allertare le strutture di protezione civile interessate. L'allertamento necessita di una previsione a breve termine, che indichi nel modo più affidabile possibile il *quando* e il *dove* possono manifestarsi situazioni critiche.

L'integrazione delle conoscenze e delle esperienze maturate in seno alle due Strutture di Arpa Piemonte si concretizza in studi interdisciplinari finalizzati alla classificazione del territorio in funzione del rischio idraulico, per completare le previsioni in tempo reale sull'evoluzione temporale dei fenomeni anche con l'indicazione delle aree interessate, soprattutto di quelle a maggior rischio, in funzione delle dinamiche di inondazione e degli effetti e dei danni attesi.

2.7.2

I processi fluviali

La genesi dei corsi d'acqua e la loro evoluzione dipendono da quattro fattori principali: i processi morfodinamici, il controllo strutturale, le variazioni climatiche ed il tempo. Tutti questi fattori operano a diverse scale, anche impercettibili all'uomo, condizionando la forma del paesaggio e la sua evoluzione. I processi che si esplicano sul territorio durante gli eventi di piena sono dunque strettamente connessi e condizionati da questi fattori, pertanto il loro studio e la conoscenza dei loro mutamenti sono fondamentali per prevedere gli effetti delle piene sul tessuto antropico e per poter mettere in atto gli strumenti necessari per una corretta politica di gestione del territorio.

Le variazioni climatiche che hanno interessato la terra hanno avuto fluttuazioni più o meno regolari con cicli millenari, come la successione di periodi glaciali e interglaciali nel Quaternario e con cicli più brevi centennali e decennali, come, per citare gli ultimi, le *piccole glaciazioni* avvenute tra il 1000 ed il 1300 d.C., e tra il 1500 ed il 1850 d.C. Questi ultimi cicli, anche se di breve durata, hanno influenzato notevolmente la vita dell'uomo e la morfologia del territorio.

Recenti studi climatici prevedono l'inizio di un periodo che vede un graduale aumento della temperatura, accentuato dall'immissione in atmosfera dei gas prodotti dai combustibili fossili. Modificazioni ambientali legate all'aumento medio della temperatura si sono già verificate naturalmente, con cicli di circa 150-200 anni. Il periodo attuale rappresenterebbe la transizione climatica tra l'ultima *Piccola Età Glaciale* ed il prossimo *Effetto Serra*. Gli ultimi periodi caldi noti sono relativi all'età romana (150-350 d.C.) ed al medioevo (1000-1300). Studi multidisciplinari hanno consentito di apprezzare quantitativamente, alle diverse latitudini, le modificazioni dell'ambiente fisico succedutesi nelle ultime migliaia di anni: durante i periodi caldo-aridi si sono avute nell'area mediterranea desertificazione lungo le aree costiere con improvvisa riduzione delle piogge dell'80%, mentre nelle aree collinari e montane si è verificata una riduzione delle precipitazioni di oltre il 50%, ed una loro concentrazione in periodi limitati.

Si è quindi ipotizzato, per la prossima modificazione, in base alla storia climatico-ambientale di periodi precedenti e ai vari dati scientifici, insieme ad altre variazioni quali desertificazione delle fasce costiere, riduzione dei processi pedogenetici, riduzione della copertura vegetale aumento dell'erosione del suolo, ecc., anche i seguenti cambiamenti:

- nelle aree montuose e collinari una forte riduzione delle precipitazioni (oltre il 50% dell'attuale) ma una maggiore aggressività delle stesse, con il conseguente aumento delle portate fluviali;
- uno spostamento progressivo del punto neutro verso la parte pedemontana dei corsi d'acqua con diminuzione del trasporto solido;
- un incremento dell'erosione dei litorali sabbioso-ghiaiosi;
- un innalzamento dello zero termico con conse-

guente progressiva fusione del permafrost e incremento delle precipitazioni piovose nelle aree montuose alpine (Ortolani & Pagliuca, 2001).

Anche i processi geologici hanno influenzato e indirettamente ancora influenzano il corso dei fiumi ed i processi ad essi legati. Vengono di seguito riportati tre esempi significativi dei condizionamenti geologici sui corsi d'acqua piemontesi.

Durante il Quaternario l'azione geodinamica ancora in atto è stata la causa principale di tre importanti fenomeni di deviazione fluviale avvenuti in età pleistocenica ed interessanti il reticolo idrografico dell'alta Pianura Padana: la diversione del Po, quella della Dora Baltea e la cattura del Tanaro.

La diversione del Po è stata la conseguenza dell'evoluzione geodinamica della Collina di Torino associata ai processi erosivo-deposizionali del conoide fluvio-glaciale dell'Anfiteatro Morenico di Rivoli-Avigliana durante il Pleistocene inferiore. Questa concomitanza di fattori ha comportato la chiusura verso nord, in corrispondenza della soglia di Moncalieri, del Bacino Piemontese Meridionale. Da quel momento, la direttrice dei deflussi si è imposta a sud della Collina di Torino e dei rilievi del Monferrato (Paleo Po).

L'evoluzione quaternaria ha successivamente prodotto l'incremento della compressione dell'anticlinale della Collina di Torino unitamente ad un incremento dell'inclinazione verso sud-ovest del suo asse. Conseguenza principale di questi processi è stata la subsidenza del settore nord-orientale della Pianura Piemontese Meridionale, che ha provocato una struttura di deformazione, la *Flessura marginale dell'Altopiano di Poirino*, con asse diretto circa nord-sud, unitamente ad un abbassamento tettonico dei rilievi dell'astigiano. Il progressivo fenomeno ha determinato il richiamo del drenaggio del Bacino Piemontese Meridionale verso nord ed ha indotto la diversione del percorso fluviale del Po che ha ripreso a scorrere, per'altro con una conformazione diversa, a nord della Collina di Torino e dei Rilievi del Monferrato (Polino & Sacchi, 1995; Nigrelli, 2005), (figura 2.7.1).

Il Tanaro, che discendendo dalle Alpi Marittime percorreva la pianura confluendo nel Po in corrispondenza dell'abitato di Carignano, alla fine del Pleistocene superiore ha subito una sorta di cattura nei pressi di Bra. La cattura è avvenuta per erosione regressiva dello spartiacque che separava l'antico alveo dalla valle di uno dei torrenti che solcavano le colline ad est. Le acque del fiume abbandonarono il vecchio percorso per confluire nel Po, nella piana alessandrina (figura 2.7.2).

La terza e ultima modificazione è quella subita dal Fiume Dora Baltea in corrispondenza della chiusura del suo percorso vallivo. Attualmente la Dora Baltea supera la Città di Ivrea attraverso una stretta forra impostata nelle rocce del substrato cristallino. A nord-est della città il piccolo Rio Ribes scor-

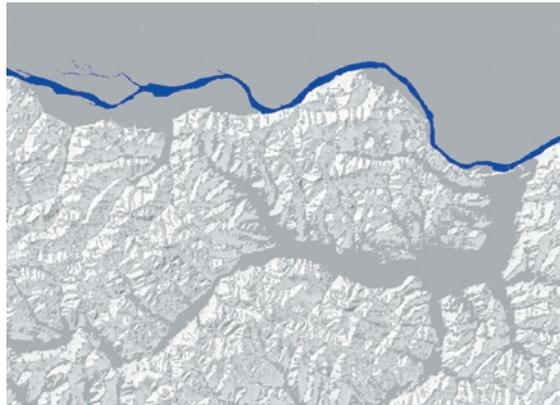


Figura 2.7.1
Percorso attuale del Fiume Po (in blu), a nord della Collina di Torino. Si osservi l'antico percorso del fiume, parallelo all'attuale e inciso con direzione ovest-est tra i rilievi collinari



Figura 2.7.2
Percorso attuale del Fiume Tanaro (in blu), verso est. Si noti l'antico percorso del fiume, che deviava verso ovest, costeggiando l'attuale limite orientale della pianura cuneese

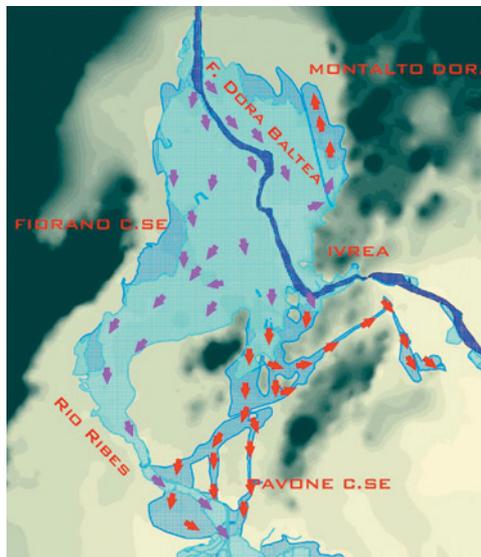


Figura 2.7.3
Percorso attuale del Fiume Dora Baltea (blu scuro), con le aree inondate durante gli eventi del settembre 1993 (retino azzurro chiaro, frecce fucsia) e dell'ottobre 2000 (retino azzurro scuro e frecce rosse e fucsia) che evidenziano non solo l'antico percorso verso ovest, lungo la direttrice attualmente occupata dal Rio Ribes e dal Torrente Chiusella, ma anche altri percorsi fluviali, tra Ivrea e Pavone Canavese, riattivati nel 2000

re in un antico canale del fiume ancora ben inciso. La parte terminale di questo canale è occupata ora dal Torrente Chiusella che in epoca postglaciale aveva subito una cattura per erosione regressiva, dovuta a fenomeni di sollevamento tettonico (Carraro, 1992). È probabile che all'ingresso della piana a monte di Ivrea, l'antico scaricatore glaciale si dividesse già in più rami, uno dei quali passava ad Ivrea secondo l'attuale percorso, mentre altri deviavano verso Fiorano. Probabilmente la concomitanza di movimenti tettonici e di fenomeni erosionali a scapito dei depositi di colmamento della piana a nord di Ivrea, ha causato la formazione dell'attuale superficie terrazzata di Fio-

Figura 2.7.4

Torrente Chisone nei pressi di Pinerolo, prima della piena dell'ottobre 2000: il corso d'acqua presentava un unico canale attivo, ad eccezione di un breve canale secondario, ormai in via di abbandono

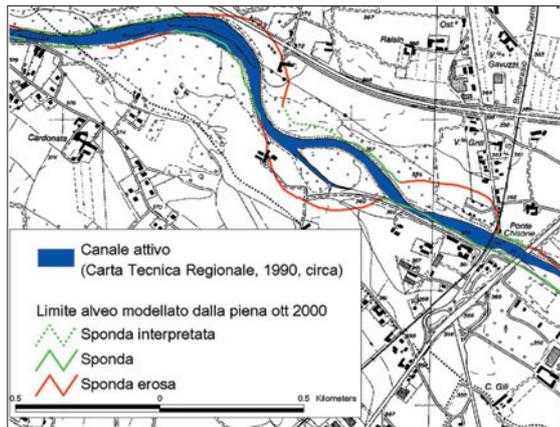


Figura 2.7.5

Torrente Chisone nei pressi di Pinerolo, dopo la piena dell'ottobre 2000: i deflussi sono distribuiti in due canali, in sponda destra, mentre il canale precedentemente attivo è stato abbandonato dai deflussi

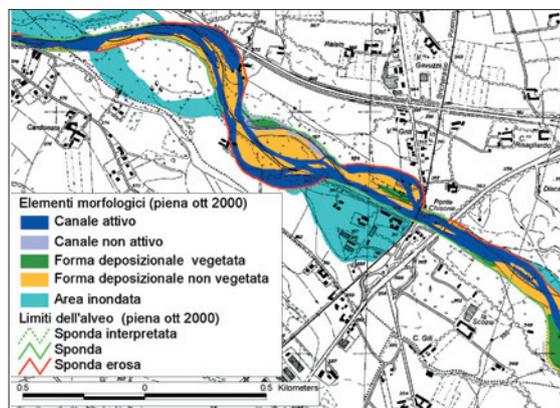


Figura 2.7.6

Alveo modellato dalla piena, ripreso pochi giorni dopo l'evento (foto Giraud, deflusso dall'osservatore)

rano e il conseguente abbandono della direttrice del Ribes. La particolare situazione morfologica dovuta alla presenza di un effimero spartiacque rappresentato dal basso terrazzo di Fiorano, determina però fenomeni di *sfiornamento*, in occasione di piene con portate superiori ai 2'000 m³/s, con riattivazione del ramo abbandonato. Così è avvenuto per le piene del settembre 1993 (Bellardone & Forlati, 1996a) e dell'ottobre 2000 (Bellardone & Giampani, 2003), tale riattivazione nel XX secolo, si sarebbe verificata anche nell'ottobre 1920. Altre riattivazioni più antiche sono note nel 1834 e nel 1775 (figura 2.7.3).

Come si è visto, la *magnitudo* dei cambiamenti morfologici può essere molto variabile nel tempo, ma i cambiamenti più evidenti (perché a scala temporale umanamente percepibile) sono associati alle attività antropiche e avvengono più velocemente di quanto possano essere assorbiti dall'ambiente circostante, causando una situazione di disequilibrio dell'intero sistema.

Un fiume *stabile* è in equilibrio dinamico quando, a scala di bacino i processi di sedimentazione e asportazione si compensano. Le condizioni al contorno includono la pendenza della valle, le caratteristiche geo-litologiche, il tipo di suolo, le caratteristiche della vegetazione ed anche le condizioni climatiche. Modificazioni nella quantità del trasporto solido, nel regime delle piene e delle condizioni al contorno possono disturbare l'equilibrio del corso d'acqua che può rispondere con cambiamenti morfologici evidenti anche repentini, fino al riequilibrarsi del sistema.

Quando i processi erosivi eccedono i processi sedimentari si verifica una naturale incisione del canale. La riduzione dell'apporto di sedimenti può essere collegata a fattori climatici, ma è dovuta anche (e per quanto riguarda gli ultimi 50-60 anni soprattutto) alla creazione di invasi artificiali, alla realizzazione di opere di difesa e all'asportazione di sedimenti in alveo per uso antropico.

Tali azioni se da un lato favoriscono la stabilità planimetrica del canale e il contenimento delle piene ordinarie o con tempo di ritorno decennale, dall'altro causano problemi sia ambientali sia al tessuto antropico. Tra i primi è da ricordare l'abbassamento della superficie piezometrica delle falde freatiche e il conseguente abbassamento della quota raggiunta dalla risalita capillare, che causa l'impovertimento del suolo; tra i problemi al tessuto antropico sono da ricordare i continui danni ai ponti, anche per piene non particolarmente eccezionali (tempo di ritorno 20-50 anni). Inoltre la regimazione dei corsi d'acqua, con la riduzione delle aree interessate dai deflussi, se da un lato determina una riduzione del grado di inondabilità per le aree protette, dall'altro porta ad un aumento della velocità e delle portate a valle con possibilità di inondazioni più estese. Tale problema era già stato affrontato da Visentini (1952): "*La vista di questi ampi territori abbandonati dalle correnti fluviali attira lo sdegno di chi pensa alle pressanti necessità sociali che richiedono di porre a coltivazione sempre nuove terre, ma per quanto si è detto, restringere gli alvei con arginature od altre difese aumenterebbe il valore dei colmi di piena nei fiumi arginati e quindi, almeno nelle condizioni attuali, è da escludere in modo assoluto*".

I corsi d'acqua pluricursali piemontesi hanno subito modificazioni dovute a fattori antropici con scomparsa quasi totale dei tratti a modellamen-

to pluricursale e passaggio a forme monocursali. Tale metamorfosi, ascrivibile anche a variazioni nei regimi idrologici (Maraga, 1989) era già in atto almeno dal XVII secolo, ma è stata accelerata notevolmente negli ultimi decenni del secolo scorso. Questa metamorfosi accelerata, indotta essenzialmente da fattori antropici, può essere interrotta dal verificarsi di piene significative, con il ritorno alle morfologie originarie, come esemplificato dai seguenti casi.

Il Torrente Chisone, nella zona compresa tra lo sbocco in pianura ed il ponte della Strada Statale 559, presentava nel 1858 un alveo con due canali attivi, per un'ampiezza dell'ordine di 300 m, nella zona di massimo sviluppo (Foglio LII, Pinerolo della *Gran Carta degli Stati Sardi in Terraferma* alla scala 1:50.000). A partire dai primi decenni del secolo scorso, si è osservata una progressiva riduzione dell'ampiezza dell'alveo, con concentrazione dei deflussi in un unico canale che, all'inizio degli anni Novanta aveva un'ampiezza di circa 70 m in corrispondenza del ponte e ben minore nelle zone a monte di esso.

Durante l'evento dell'ottobre 2000 (portata stimata a San Martino 980 m³/s, tempo di ritorno circa 130 anni, (Barbero *et al.*, 2003) in questa zona il torrente ha riacquisito un alveo a più canali, con un'ampiezza, calcolata tra le sponde incise di circa 250 m.

Il Torrente Orco presentava fino agli anni Cinquanta del secolo scorso un alveo ampio a più canali. Dal confronto dell'andamento del torrente in periodi differenti, risulta come una tendenza alla diminuzione dell'ampiezza dell'alveo fosse già evidente, prima degli anni Cinquanta (Maraga, 1986). Successivamente la mutazione verso forme monocursali è persistita, favorita anche dall'escavazione di inerti in alveo e soprattutto dalla realizzazione di opere atte a contenere i deflussi in fasce sempre più ristrette. Alla fine degli anni Settanta, il deflusso era ormai impostato in un unico canale cui erano associati ancora brevi tratti d'alveo con due o più rami, comunque caratterizzati da canali di deflusso principali più incisi rispetto ai laterali che stavano per essere progressivamente abbandonati. Tale tendenza è persistita nel tempo, come si osserva dalle aerofotografie del 1991, dove l'alveo è ormai quasi totalmente caratterizzato da un unico canale di deflusso (Bellardone & Forlati, 1996b).

Dopo l'evento alluvionale del 24-25 settembre 1993, con portata massima al colmo a Pont Canavese di 1'500 m³/s e tempo di ritorno 50 anni (Ravera *et al.*, 1996), le peculiarità dell'alveo-tipo originario sono prevalse, con il manifestarsi dei caratteristici processi associati alle piene in corsi d'acqua pluricursali: ampliamenti della sezione dell'alveo per erosioni di sponda, neoformazione

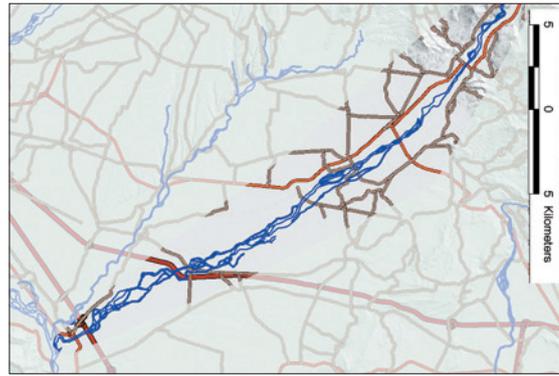


Figura 2.7.7
Torrente Orco, nella metà del XIX secolo. L'ampiezza dell'alveo variava da un minimo di una sessantina di metri al ponte di Cuornè, allo sbocco in pianura, fino ad un massimo superiore di 900 m slm, tra i comuni di San Benigno Canavese e Foglizzo

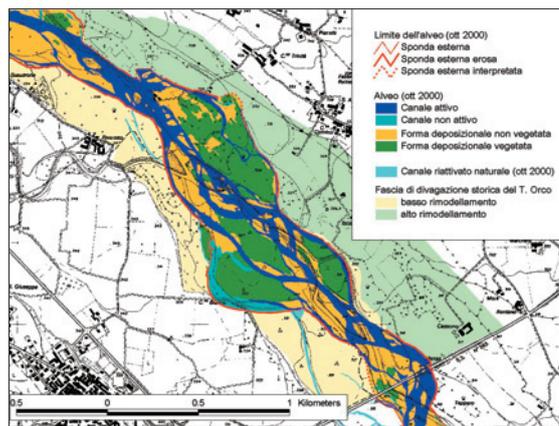


Figura 2.7.8
Alveo del Torrente Orco dopo la piena del 2000 (a monte di Rivarolo Canavese)

di canali, riattivazione di canali secondari non ordinariamente interessati dai deflussi, trasporto solido. Dopo l'evento dell'ottobre 2000, con portata stimata a Cuornè di 1'650 m³/s e tempo di ritorno 80 anni (Barbero *et al.*, 2003), la morfologia dell'alveo era tornata confrontabile per molti tratti con quella della metà del secolo scorso. Non solo, ma anche tratti ormai caratterizzati da un unico canale già da oltre un secolo, quale ad esempio quello prossimo al ponte di Cuornè, avevano riacquisito una morfologia a canali plurimi.

Associate alla piena del 2000, modificazioni significative verso l'originario alveo-tipo pluricursale si sono osservate anche lungo il tratto della Dora Baltea, a valle dei depositi glaciali dell'Anfiteatro Morenico di Ivrea (Bellardone & Giampiani, 2003).

2.7.3

La diagnosi geomorfologica: un approccio per lo studio dell'inondabilità

Con il Progetto Interreg *CatchRisk: Mitigation of Hydro-Geological Risk in Alpine Catchments*, il Centro Regionale per le Ricerche Territoriali e Geologiche di Arpa Piemonte ha condotto studi morfologici volti all'individuazione e alla classificazione delle fasce ad inondabilità genetica, allo scopo di fornire indirizzi e linee guida da applicarsi in studi analoghi in ambiente di fondovalle e di pianura (AA.VV., 2005a). Il metodo della diagnosi morfologica è orientato all'individuazione delle aree potenzialmente soggette a inondazione e alla loro catalogazione in clas-

si di probabilità relativa, valutando l'assetto morfologico attuale e passato del corso d'acqua (Maraga, 1998).

L'approccio geomorfologico parte dal presupposto che la propagazione dei deflussi possa occupare totalmente l'idrosistema, e che perciò sia necessario prima di tutto individuare questa fascia, definita a *inondabilità genetica*, quindi classificarla per priorità di sommersione e per energia dei deflussi possibili. La propagazione dei deflussi nelle aree geneticamente inondabili è sovente controllata oltre che dalla macro-morfologia anche dalla micro-morfologia, rappresentata dalle forme fluviali relitte, con grado di incisione basso o anche nullo. L'intersezione di tali forme con infrastrutture antropiche che a loro volta condizionano la propagazione dei deflussi, anche in modo discordante rispetto alle prime, può determinare un'esaltazione dell'inondabilità e degli effetti sia nelle zone di influenza di tali condizionamenti sia sulle infrastrutture (soprattutto rilevati stradali e canali artificiali). Collocare spazialmente tali forme è quindi indispensabile e può avvenire solo attraverso un'attenta analisi morfologica volta al riconoscimento degli alvei passati cui esse erano associate.

Il progetto ha previsto l'analisi di due aree campione, selezionando due tratti fluviali distinti sia per caratteristiche morfologico-ambientali sia per la disponibilità di cartografie tematiche. La prima area corrisponde al tratto di Fiume Po compreso tra le confluenze del Fiume Stura di Lanzo e del Torrente Orco (per un tratto di circa 18 km). La seconda area campione è il Fiume Sesia nel tratto alpino compreso tra gli abitati di Alagna Valsesia e Borgosesia (circa 50 km). Per il Fiume Po, la ricostruzione morfologica degli alvei si è fondata essenzialmente su basi topografiche (1858, 1923) e cartografie tematiche esistenti (Dutto, 1993), mentre la ricostruzione dell'alveo e degli elementi morfologici significativi modellati dalla piena dell'ottobre 2000 e delle superfici terrazzate attuali, è stata effettuata tramite fotointerpretazione di riprese aeree. Per la classificazione delle aree inondabili sono state utilizzate anche le mappe esistenti dei campi di inondazione riferiti alle piene del 1992, 1994 e 2000 (Dutto, 1993; Mensio, 1996; Paro, 2003; Susella *et al.*, 2003).

Per la seconda area campione (Fiume Sesia), il riconoscimento delle forme legate al corso d'acqua nel XIX secolo si è basato sull'analisi di carte topografiche (1884-1886). La mappatura dell'alveo e degli elementi morfologici significativi dalla seconda metà del XX secolo al 2000 è avvenuta tramite fotointerpretazione con stereovisore ottico di aerofotografie (4 serie) realizzate tra il 1954 ed il 2000, selezionate anche perché successive a piene significative (1948-1951, 1976-1977, 1993-1994, 2000).

Per il Fiume Sesia, oltre alla ricostruzione planimetrica degli alvei, sono stati valutati, per tratti omogenei, anche parametri morfometrici, quali le altezze delle sponde delimitanti l'alveo del 2000, la larghezza dell'alveo e dei canali attivi, la lunghezza dell'alveo, la lunghezza secondo l'asse della valle, la lunghezza della linea di *thalweg*, l'indice di ramificazione, l'indice di sinuosità, la lunghezza totale delle erosioni di sponda e l'indice di *entrenchment* (trinceramento).

L'evoluzione altimetrica del profilo di fondo del corso d'acqua è stata stimata soprattutto attraverso evidenze planimetriche indirette, quali modificazioni dell'alveotipo, tendenza alla canalizzazione del corso d'acqua, o viceversa tendenza ad un andamento ramificato e instabile in alveo sovralluvionato, in secondo luogo attraverso osservazioni dirette sullo stato di scalzamento o di interrimento delle fondazioni di opere in alveo (pile, difese), infine, ma molto limitatamente, dal confronto delle sezioni trasversali misurate in tempi differenti.

I parametri significativi, per tronco d'alveo a comportamento omogeneo, sono stati infine riassunti in schede descrittive e in tabelle.

Gli elementi di morfologia fluviale sono stati utilizzati quindi per l'individuazione delle aree inondabili, cercando di assegnare ad ogni singola area un grado di propensione alla riattivazione in funzione dell'altezza delle sponde del corso d'acqua e dell'assetto fluviale attuale, considerando anche le tipologie di associazioni vegetazionali (seminativi, arboree, arbustive). Le aree inondabili sono state quindi classificate in:

- 1) *area con propensione all'inondabilità molto elevata (Classe I)*. Corrisponde all'area contenente l'alveo attuale (2000), allargata alle aree ricadenti, per il Fiume Po, entro la fascia di mobilità storica recente dell'alveo (dal 1923). Per il Fiume Sesia tale area è stata estesa alla fascia di mobilità storica (comprendente le forme degli alvei attivi dal 1884-1886) in presenza di sponde con altezze comprese tra 0 e 5 m;
- 2) *area con propensione all'inondabilità elevata-alta (Classe II)*. Per il Fiume Sesia, corrisponde per lo più ai terrazzi di primo e secondo ordine, a cui si associano sponde inferiori a 5 m. Per il Fiume Po, corrisponde all'involuppo delle aree interessate da inondazione per le piene del 1994 e del 2000 ed alle aree contenenti forme d'alveo riconosciute sulle cartografie più vecchie (1858), in assenza di argini o rilevati in genere;
- 3) *area con propensione all'inondabilità medio-bassa (Classe III)*. Corrisponde alle aree solitamente esterne alla fascia di mobilità storica, delimitate da terrazzi più vecchi e posti a quote più elevate rispetto al corso d'acqua, oppure ad aree prospicienti tratti aventi sponde di altezza tale da considerare il rischio di inondazione limitato a casi di piena particolarmente intensi e violenti;

4) *area potenzialmente inondabile solo per eventi di piena catastrofici con propensione all'inondabilità estremamente bassa (Classe IV). Corrisponde ad aree di chiara origine fluviale (involuppo delle forme fluviali antiche incise e non incise), che per distanza o per quota media rispetto al corso d'acqua presentano una propensione genetica all'inondabilità molto limitata.*

Per la classificazione dell'inondabilità si è tenuto conto della situazione morfologica più pericolosa, per singola area: ad esempio aree classificabili per caratteristiche generali come a inondabilità medio-bassa sono state inserite in classe II (elevata-alta) per la presenza, nei settori a monte, di punti critici per sponde basse o per il dipartirsi di canali di derivazione, potenziali zone di esondazione o linee di deflusso preferenziale.

2.7.4

Risultati dell'applicazione della diagnosi geomorfologica

Verranno ora brevemente riassunti i risultati delle analisi morfologiche applicate nei due contesti differenti, quali il Fiume Po nella pianura torinese e il Fiume Sesia, nel suo tratto alpino.

Il Fiume Po è classificabile, nel tratto analizzato (da Torino a Chivasso), come monocursale sinuoso meandriforme, tipo C di Rosgen (1994), con indice di sinuosità medio $Is=1.14$.

Analizzando le carte riferite all'assetto morfologico del corso d'acqua, nei differenti periodi, si osserva come la massima estensione planimetrica dell'area occupata dai canali attivi si sia registrata all'inizio del XX secolo e come, fino agli inizi degli anni '90 si sia assistito ad una sua progressiva diminuzione, interrotta successivamente dalle piene del novembre 1994, con tempo di ritorno 20 anni (Regione Piemonte, 1998), e dell'ottobre 2000, con tempo di ritorno 80 anni (Barbero *et al.*, 2003), in accordo con l'analogo comportamento di altri corsi d'acqua piemontesi.

La classificazione delle aree inondate si è basata non solo sull'analisi delle forme, ma anche sulle mappe di inondazione relative agli eventi di piena del 1994 e del 2000, confrontabili con le piene di riferimento rispettivamente per il Codice di Allertamento 2 (inferiore o uguale a 20 anni per la piena del 1994) e per il Codice di Allertamento 3 (maggiore di 20 anni per la piena del 2000) del Bollettino di Allertamento per rischio idrogeologico della Sala Situazioni Rischi Naturali di Arpa Piemonte. A tutte le aree inondate dagli eventi citati, in assenza di condizionamenti morfologici atti a contenere le inondazioni (quali scarpate di terrazzo) è stata assegnata la classe II di inondabilità. Fanno eccezione quelle zone in cui le inondazioni, causate nel 1994 per rotta degli argini, non si sono più verificate nel

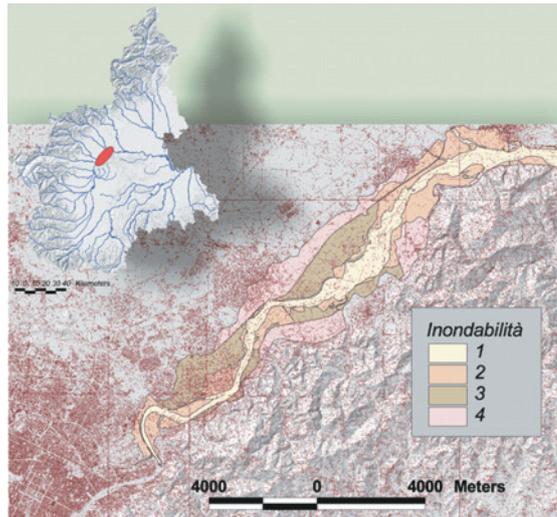


Figura 2.7.9
Tratto di fiume
Po analizzato

TABELLA 2.7.1 PARAMETRI MORFOMETRICI RILEVANTI DEL TRATTO ANALIZZATO DI FIUME PO

| ELEMENTI RILEVANTI | VALORI |
|---|---------|
| Quota massima | 209.0 m |
| Quota minima | 171.0 m |
| Lunghezza dell'alveo di magra | 21.0 km |
| Lunghezza del tratto, dell'alveo di piena | 18.4 km |
| Pendenza media | 0.18% |

TABELLA 2.7.2 AREA OCCUPATA DALL'ALVEO DEL FIUME PO NEL XX SECOLO

| PERIODO | AREA ALVEO [km ²] | RIDUZIONE [%] |
|-----------|-------------------------------|---------------|
| 1923 | 6.8 | |
| 1958-1988 | 5.2 | 24 |
| 1992 | 3.9 | 43 |
| 1994 | 4.9 | 28 |
| 2000 | 5.8 | 15 |

TABELLA 2.7.3 AREE INONDABILI PER IL TRATTO ANALIZZATO DI FIUME PO

| CLASSE | AREA INONDABILE [km ²] |
|------------|------------------------------------|
| Classe I | 9.74 |
| Classe II | 11.92 |
| Classe III | 9.19 |
| Classe IV | 9.93 |
| Totale | 40.78 |

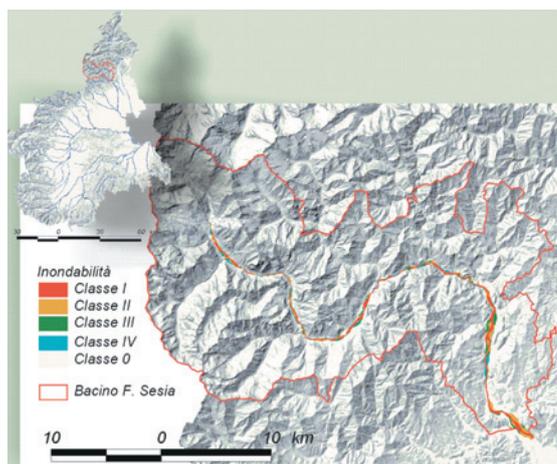


Figura 2.7.10
Seconda area campione:
tratto alpino
del Fiume Sesia,
tra i comuni di Alagna
Valsesia e Borgosesia

Figura 2.7.11
Alveo del Sesia nel 1884
(base IGM 1:25.000).
A quell'epoca tutto
il fondovalle era occupato
dal Sesia.
Per la legenda
si faccia riferimento
alla figura 2.7.14

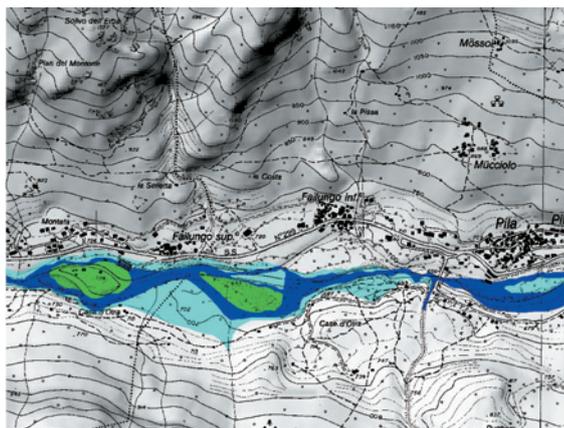
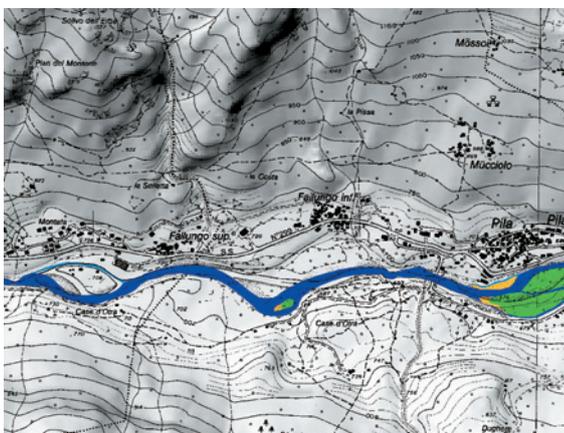


Figura 2.7.12
Alveo del Sesia nel 1978
(base CTR 1:10.000).
Si noti come i deflussi
siano concentrati
in un unico canale.
La legenda per le forme
costituenti l'alveo
è la stessa della figura
2.7.14



**TABELLA 2.7.4 ESEMPIO DI SCHEDA RIASSUNTIVA,
PER TRATTO OMOGENEO, DELLE PRINCIPALI CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE RILEVATE**

EVOLUZIONE PLANIMETRICA DEL CORSO D'ACQUA DAL 1885 AL 2000

| | Situazione pregressa | Situazione attuale |
|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| Alveotipo | 1954 – pluricursale | Pluricursale irregolare |
| | 1978 – pluricursale | localmente ramificato |
| | 1994 – pluricursale | |
| Larghezza media [m] | 1954 – 49.1 | 65.3 |
| | 1978 – 46.5 | |
| | 1994 – 66.1 | |
| Indice di braiding | 1954 – 2 | 2 |
| | 1978 – 2 | |
| | 1994 – 2 | |
| Erosione di sponda [m] | 1994 – sp. sx – 567.6 (15.10%) | sp. sx - 310.64 (16.50%) |
| | 1994 – sp. dx – 772.8 (20.28%) | |
| | | |

Evoluzione altimetrica del fondo alveo

Stato attuale

Evidenze approfondimento

Riattivabilità delle forme fluviali relitte

Forme abbandonate recenti 1 sulla sponda sinistra e 1 sulla sponda destra

Forme abbandonate antiche assenti

Composizione granulometrica prevalente

Massi e ciottoli

Tipologia di vegetazione lungo asta fluviale

Arborea e arbustiva

Interventi antropici

2000 per la tenuta dei medesimi ricostruiti dopo l'evento; a queste aree è stata assegnata una classe di inondabilità minore (classe III).

In **tabella 2.7.3** sono riportate le estensioni delle aree inondate, per classi di inondabilità:

La seconda area campione scelta per le analisi di inondabilità è il Fiume Sesia, nel suo tratto alpino.

In base agli studi condotti, il Fiume è stato suddiviso in 12 tronchi a comportamento omogeneo. Analizzando l'ampiezza dell'alveo, tra il 1884 e il 1978 si è osservato, per i tratti a sviluppo pluricursale, che i valori medi e massimi sono diminuiti quasi ovunque. Tra il 1978 e il 1994, l'ampiezza sia media sia massima dell'alveo è aumentata per poi, nel 2000, mantenere un'estensione confrontabile a quella del 1994.

Analizzando invece le aree occupate dagli alvei attivi, si osserva che l'estensione massima corrispondente al 1884 ha subito una diminuzione del 20% nel 1978 ed un aumento fino a valori confrontabili con il 1884 nel 1994. Nel 2000 si è registrata una minima riduzione rispetto al 1994. Non è stato considerato l'alveo del 1954 perché non cartografato per tutto il tratto studiato.

In base alle analisi condotte, il Fiume Sesia mostra un'attività laterale limitata, nella maggior parte del suo percorso a sviluppo unicursale (spesso inciso in roccia), mentre nelle parti più ampie di fondovalle, ove acquista un andamento a più canali, l'attività laterale è significativa, in accordo con le tendenze evolutive classiche dei tronchi pluricursali.

Infine, dal valore delle aree degli alvei nel 1994 e nel 2000, si osserva come anche il Fiume Sesia, come la maggior parte dei corsi d'acqua a sviluppo pluricursale piemontesi, in concomitanza di piene con tempi di ritorno anche non particolarmente significativi, quali quelle del 1993, 1994 e 2000, riacquista totalmente o quasi totalmente l'ampiezza che aveva alla fine del XIX secolo, con un riaffermarsi dell'andamento a canali plurimi.

Venendo all'analisi dell'inondabilità genetica, dei 17 km² di fondovalle classificati, il 30% si colloca nella classe I (elevata propensione), il 20% in classe II (alta propensione), il 15% in classe III (medio-bassa), l'11% in classe IV (molto bassa) e solo il 16% del fondovalle non sarebbe inondabile.

Associando alle aree a differente classe di inondabilità le informazioni ricavate dalle analisi morfologiche, è stata possibile una loro ulteriore classificazione, in base agli effetti attesi, ponendo particolare riguardo all'individuazione delle aree che potrebbero essere interessate da deflussi concentrati, per la presenza di forme canalizzate, più o meno rimodelate, associate a uno o più alvei attivi nel periodo considerato; le classi di inondabilità I, II e III sono state quindi ulteriormente suddivise in categorie A e B, in funzione della presenza di tali forme.

2.7.5

Analisi interdisciplinari finalizzate alla classificazione delle aree a rischio di inondazione

L'approccio morfologico all'analisi dell'inondabilità permette di individuare le aree ancora di pertinenza fluviale ma non consente di classificarle in funzione della loro probabilità relativa ad essere inondate. Pertanto, per il riconoscimento delle aree a rischio di inondazione è necessario associare alle analisi morfologiche prima descritte altre indagini, finalizzate in particolare alla classificazione delle piene dei singoli corsi d'acqua in termini di portate, frequenze e di impatto sul territorio. Solo attraverso l'integrazione dell'analisi geomorfologica con gli studi idraulici e con il riconoscimento, degli effetti e dei danni indotti dalle piene passate, è possibile giungere alla delimitazione delle aree inondabili per piene con portate note (di riferimento, ad esempio, per le azioni di allertamento) ed al riconoscimento dei corrispondenti elementi a rischio. Tali informazioni, associate ad un sistema di previsione meteorologica e ad un sistema di preannuncio delle piene in tempo reale, permettono di definire degli scenari grazie ai quali è possibile effettuare interventi mirati di salvaguardia nonché di effettuare controlli su opere e infrastrutture, in caso di superamento di soglie di attenzione stabilite.

La sperimentazione di diverse metodologie di studio sui corsi d'acqua piemontesi da parte di Arpa Piemonte ha permesso di mettere a punto una procedura adottabile negli studi finalizzati al riconoscimento delle aree a rischio, fondata su un approccio interdisciplinare che combina informazioni storiche con l'analisi geomorfologica ed idraulica.

Nei prossimi capitoli saranno brevemente riassunti i passi principali di queste analisi.

2.7.5.1

Analisi orientate alla caratterizzazione morfologica dell'idrosistema e degli elementi a rischio idraulico

Come già affermato, gli effetti legati al passaggio delle piene sono conseguenza di fattori fisici e climatici, che perdurano nel tempo e di condiziona-

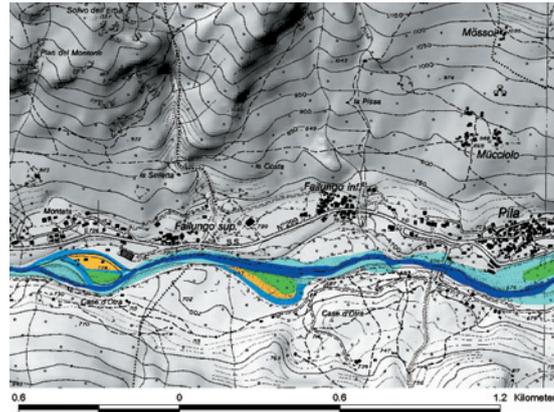


Figura 2.7.13
Alveo del Fiume Sesia nel 1994. Si osservi soprattutto la riattivazione del canale costituente l'ansa di valle (deflussi da sinistra verso destra). La legenda per le forme costituenti l'alveo è la stessa della figura 2.7.14

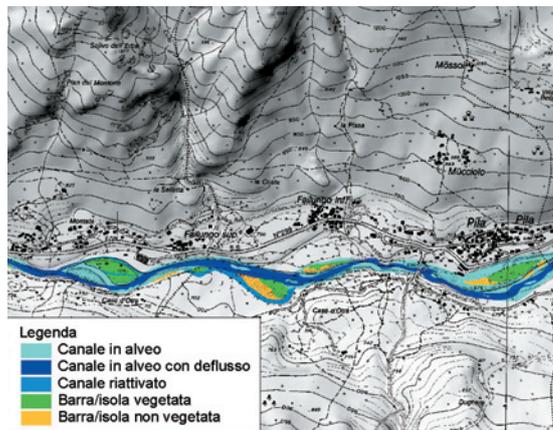


Figura 2.7.14
Il Fiume Sesia nel 2000. L'assetto dell'alveo è confrontabile con quello del 1994, ma si osservi l'abbandono del canale laterale verso monte e la formazione di un piccolo canale laterale nella zona mediana del tratto.

menti antropici che possono esaltare o al contrario ridurre i danni da esse causati; perciò le informazioni sugli effetti indotti da piene passate, se analizzate alla luce dell'attuale assetto del territorio, in termini di occupazione del suolo e di presenza delle opere di difesa/regimazione dei deflussi, permettono di prevedere quali potranno essere gli effetti e i danni indotti da piene future.

In generale lo studio delle piene pregresse prevede un'analisi fotointerpretativa per il riconoscimento degli elementi morfologici modellati dai deflussi e delle aree inondate. Le analisi dirette devono essere integrate da informazioni derivate da documentazione storica o tecnico scientifica (disponibile presso i vari archivi, comunali, provinciali, regionali, ecc.), informazioni necessarie soprattutto per l'individuazione delle entità coinvolte e per la determinazione, anche solo qualitativa, dei dan-

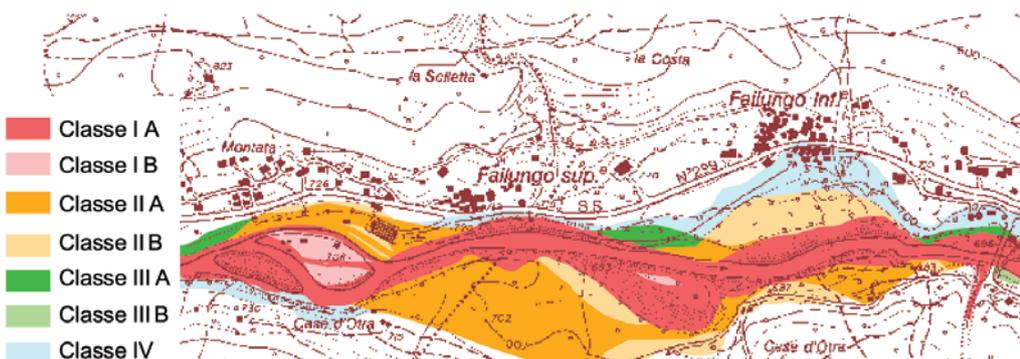


Figura 2.7.15
Classi di inondabilità distinte in categorie A e B, in funzione della presenza (A) o assenza (B) di forme canalizzate associate ad almeno uno degli alvei riconosciuti nel periodo analizzato (1882/86-2000)

ni (zone edificate, infrastrutture stradali, opere di difesa, ecc). Il GIS permette, tramite l'informatizzazione e la stratificazione dei dati, di avere una visione spaziale e multi-temporale dell'idrosistema, di visualizzarne la storia evolutiva e di prevederne gli sviluppi futuri, attraverso opportune e mirate sintesi dei vari strati informativi. L'uso di tali tecniche permette inoltre di evidenziare spazialmente tutti quegli elementi che nel tempo hanno denotato segni di vulnerabilità all'inondabilità, inquadrando nel loro contesto ambientale per singoli episodi e di classificarli in classi di rischio.

Le analisi delle modificazioni altimetriche dell'alveo completano la base dati concorrendo a costruire il quadro dell'assetto morfologico attuale e passato del corso d'acqua e delle sue tendenze evolutive, secondo tronchi d'alveo a comportamento omogeneo.

Le informazioni morfologiche sulle piene storiche del corso d'acqua, calate nella situazione attuale e integrate con le informazioni sull'uso del suolo, porteranno alla previsione degli effetti attesi sul tessuto antropico, secondo scenari di rischio, classificati e descritti in base a livelli di pericolosità crescente e nelle specifiche associate a portate di riferimento opportunamente individuate.

2.7.5.2

Analisi idraulica

Le portate di riferimento che vengono utilizzate per la descrizione degli scenari sono generalmente ricavate dall'elaborazione statistica delle serie storiche del corso d'acqua in esame. Quando non sono disponibili dati di portata per un periodo sufficiente, le portate di riferimento possono essere desunte dagli studi di regionalizzazione a scala di bacino quali, per esempio, quelli proposti da molte Autorità di Bacino e dalle Unità Operative del Gruppo Nazionale delle Catastrofi Idrogeologiche del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Per ciascun tronco d'alveo a comportamento omogeneo sono individuate almeno le portate di riferimento associate a scenari di moderata ed elevata pericolosità; per queste portate vengono condotte le verifiche idrauliche volte alla determinazione dei livelli di massima piena, attraverso cui esaminare i franchi idraulici delle opere longitudinali (argini, difese ecc.) e trasversali (ponti, viadotti, traverse ecc.); queste portate sono infine quelle da utilizzare nelle analisi per la delimitazione dei campi di inondazione.

L'approccio modellistico applicato dipende dalla complessità del fenomeno da rappresentare: in alcuni casi può essere sufficiente una verifica idraulica in regime permanente con moto monodimensionale, mentre nelle situazioni più complesse può essere opportuno ricorrere a modelli bidimensionali in moto vario che tengano conto delle componenti trasversali del flusso e dei fenomeni di laminazione.

Particolare attenzione va posta ai punti in corrispondenza di tratti critici di probabile esondazione e specialmente:

- in corrispondenza delle opere di attraversamento;
- in corrispondenza di opere di derivazione;
- in corrispondenza di tratti arginati riconosciuti a rischio di sormonto;
- in corrispondenza di strutture che creano impedimento al deflusso delle acque;
- a monte di zone che, in base alle analisi morfologiche precedentemente descritte, sono segnalate come inondabili con alta probabilità relativa.

È sempre opportuno verificare il grado di affidabilità del modello applicato, attraverso il confronto delle simulazioni modellistiche con gli effetti morfologici ed i danni causati da piene passate per le quali è possibile ricostruire i campi di inondazione e rivedere la schematizzazione adottata, qualora si riscontrino scostamenti significativi.

2.7.5.3

Scenari di rischio

La mappatura del rischio di inondazione è un utile strumento per le attività di allertamento se associata ad un adeguato preannuncio delle piene, attività di competenza del sistema di allertamento nazionale e regionale per il rischio idrogeologico ed idraulico, a fini di protezione civile.

Gli indirizzi operativi per la gestione organizzata e funzionale del sistema, prevedono che per ogni rischio sia adottata una scala articolata in almeno due livelli di moderata ed elevata criticità, oltre ad un livello base di situazione ordinaria in cui le criticità possibili sono ritenute comunemente ed usualmente accettabili dalle popolazioni.

Escludendo il livello di base, gli altri livelli possono essere classificati secondo le seguenti definizioni:

- *livello 2*: moderata criticità, che corrisponde al superamento dei livelli di piena ordinaria definita come la portata che transita occupando interamente l'alveo del corso d'acqua con livelli prossimi a quelli del piano campagna o degli argini. Cominciano a diventare significativi i fenomeni di erosione delle sponde più vulnerabili ed iniziano ad essere inondate le aree prospicienti al corso d'acqua;
- *livello 3*: elevata criticità, che corrisponde al superamento del livello di piena straordinaria definita come la portata che non può transitare contenuta nell'alveo e quindi determina gravi fenomeni di inondazione.

Una volta definiti i livelli di criticità e le corrispondenti piene di riferimento, per singolo tronco d'alveo a comportamento omogeneo, sono disegnati i corrispondenti scenari di rischio. Per ciascun livello di allerta adottato sono realizzate opportune cartografie con base topografica adeguata (almeno 1:10.000) che

riporteranno i campi di inondazione previsti in base sia alle analisi morfologiche sia ai modelli idraulici, e le opere coinvolte nelle piene. È di fondamentale importanza che gli scenari di rischio evidenzino anche quei manufatti che possono influenzare la distribuzione dei deflussi, soprattutto se determinano vie preferenziali di tiranti idrici elevati.

2.7.6 Risultati dell'approccio interdisciplinare all'analisi dell'inondabilità: la mappatura del rischio idraulico del Fiume Sesia

La metodologia relativa alla mappatura delle aree a rischio di inondazione, brevemente descritta in precedenza, è stata messa a punto ed applicata a un tratto di Fiume Sesia (da Borgosesia alla confluenza del Torrente Cervo), nell'ambito del Progetto di Ricerca Floodaware (Prevenzione e Previsione delle Piene), facente parte dei programmi di ricerca dell'Unione Europea attivati a seguito degli eventi climatici estremi che hanno interessato l'Europa nei primi anni '90 e dettati dalla necessità di mitigare e gestire gli eventi alluvionali dato il loro elevato impatto socio-economico (figura 2.7.16).

L'obiettivo del progetto era quello di fornire agli organismi preposti alla gestione dell'emergenza uno strumento di supporto alle decisioni, di semplice lettura, chiaro e che, in relazione alla pericolosità della piena prevista, permettesse di individuare le aree a rischio e di mettere quindi in atto le opportune misure di protezione civile. Nell'ambito del Progetto Floodaware, gli scenari sono stati suddivisi in due classi, corrispondenti ai livelli di criticità prima descritti. Le piene di riferimento associate ai due livelli sono rispettivamente le piene con tempo di ritorno 20 e 200 anni.

In base all'analisi dei principali eventi alluvionali dell'ultimo secolo per il tratto in esame (tabella 2.7.5), sono state analizzate le piene del settembre 1948 e del novembre 1968. Questi eventi, in base alla documentazione analizzata, sono stati caratterizzati da un tempo di ritorno abbondantemente superiore ai 20 anni, nel tratto preso in esame (Autorità di Bacino del Fiume Po, 1997). Tra le due, la piena del 1968 è quella meglio documentata e pertanto è stata considerata come la piena di riferimento per lo scenario di elevata criticità.

Per quanto riguarda la piena del 1968 alla stazione di Vercelli "il cui idrometrografo – gravemente danneggiato – ha cessato di funzionare prima del colmo, il diagramma di piena è stato in parte ricostruito sulla base delle letture dirette. Durante il

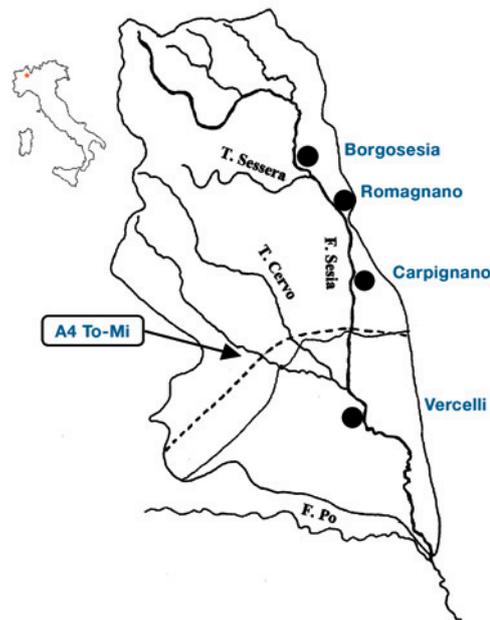


Figura 2.7.16 il Fiume Sesia, affluente alpino del Po nasce sul Monte Rosa ed ha un bacino imbrifero di 3100 km². I contributi principali sono dati dal Torrente Sessera, a valle di Borgosesia, e dal Torrente Cervo (bacino di 1'088 km²), appena a monte di Vercelli. Nel Sesia confluiscono altresì buona parte dei deflussi provenienti dal territorio della pianura vercellese

colmo, avvenuto alle ore 22 del 2 novembre, il livello fluviale ha raggiunto l'altezza di m 6,90. [...]. L'altezza del colmo sarebbe stata certamente maggiore se, poco prima e in concomitanza delle stesse (ndr ore?), non si fossero verificate esondazioni sia negli affluenti che nel Sesia stesso" (Ministero dei Lavori Pubblici, 1969). Altre fonti indicano valori di portata molto differenti (Carraro *et al.*, 1970): "L'ondata di piena fu valutata dai tecnici de Consorzio Ovest Sesia intorno ai 6'000 m³/s (altre fonti indicano valori più bassi)".

Come riferimento per gli scenari di moderata criticità è stata presa la piena del settembre 1993, per la quale è stato stimato un tempo di ritorno di circa 20 anni.

La definizione degli scenari del passato si è quindi basata sullo studio dei processi e degli effetti legati alle piene storiche, ricostruiti attraverso l'interpretazione di fotografie aeree relative ai maggiori eventi alluvionali. L'analisi fotointerpretativa ha portato al riconoscimento dei campi di inondazione e degli effetti indotti dalle piene (danni alle opere, erosioni, tracimazioni, rotte arginali). A questi dati, di tipo areale, si sono aggiunte informazioni puntuali provenienti dal Sistema Informativo Geologico di Arpa Piemonte (SIGeo). Le informazioni contenute nel SIGeo, laddove non fossero risultate sufficientemente esaustive, sono state integrate con notizie reperite presso gli archivi di Stato, gli archivi comunali e in loco attraverso interviste. Anche per il Fiume Sesia, come per altri corsi d'acqua piemontesi, dall'analisi della piene e in particolare

TABELLA 2.7.5 PIENE STORICHE E RELATIVI LIVELLI IDROMETRICI DEL FIUME SESIA

| SEZIONE DI MISURA | AGOSTO 1934 | | SETTEMBRE 1948 | | NOVEMBRE 1968 | | SETTEMBRE 1993 | | NOVEMBRE 1994 | |
|-------------------|-----------------------|-------|-----------------------|-------|-----------------------|-------|-----------------------|-------|-----------------------|-------|
| | Q [m ³ /s] | h [m] |
| Borgosesia | 2'990 | 7.5 | 3'070 | 7.9 | 2'150 | 6.8 | 2'400 | 5.05 | 1'800 | 3.37 |
| Vercelli | 2'970 | 6.4 | - | - | 3'900 | 6.9 | 3'400* | 5.68* | 3'200* | 5.65* |

* stazione di Palestro (immediatamente a valle di Vercelli)

**TABELLA 2.7.6 PORTATE DI ASSEGNATO TEMPO DI RITORNO DEL FIUME SESIA
(AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO, 1997)**

| SEZIONE DI MISURA | TR 20 ANNI | | TR 200 ANNI | |
|-------------------|-----------------------|--|-----------------------|--|
| | Q [m ³ /s] | q [m ³ /s km ²] | Q [m ³ /s] | q [m ³ /s km ²] |
| Borgosesia | 2'730 | 3.93 | 4'220 | 6.07 |
| Vercelli | 3'370 | 1.48 | 4'900 | 2.15 |

di quella del 1968, è emerso come le piene più sinifichative riattivino la morfologia fluviale relitta e come questa influenzi fortemente la distribuzione dei deflussi. I livelli di energia raggiunti dalla corrente nella fascia marginale all'alveo attivo sono maggiori in corrispondenza delle forme fluviali relitte che, dipartendosi dall'alveo, si sviluppano anche per grandi distanze diventando così vie preferenziali per deflussi ad alta energia. In questo modo effetti significativi della piena, si ripercuotono su aree anche molto lontane dal corso d'acqua, talora occupate da insediamenti e infrastrutture.

Gli scenari ricostruiti attraverso i processi e gli effetti indotti dalle piene citate sono stati poi calati nel contesto ambientale odierno, per verificarne la loro validità in base all'assetto territoriale attuale e alle opere di difesa presenti.

L'assetto attuale è stato definito attraverso i seguenti passi:

- è stata analizzata l'evoluzione planoaltimetrica dell'alveo, e sono stati individuati i punti con le variazioni più significative;
- il territorio studiato è stato sottoposto ad un'approfondita analisi morfologica, finalizzata ad evidenziare le forme più importanti per la classificazione dell'inondabilità e per la ricostruzione degli scenari di rischio;
- è stata verificata l'efficacia e l'efficienza degli interventi di difesa idraulica;
- l'analisi fotointerpretativa e le cartografie storiche hanno permesso di ricostruire le modificazioni nel tempo dell'alveo attivo del Fiume Sesia e di riconoscerne la fascia di mobilità storica.

Il confronto dei limiti dell'alveo del Sesia del 1882-1884 con quello del 1994 ha indicato una generale riduzione della sua sezione in quest'ultimo secolo. In particolare, lo studio condotto sulle modificazioni del Fiume Sesia dal 1954 al 1994, ha evidenziato una generale tendenza al restringimento dell'alveo attivo, caratterizzata dall'innescio di processi erosivi di fondo, con possibilità di pesanti conseguenze sulla stabilità di opere quali ponti o attraversamenti di vario genere.

Al fine di valutare con maggiore precisione le variazioni plano-altimetriche del Fiume Sesia, si sono confrontate le sezioni trasversali misurate in anni diversi e i corrispondenti livelli idrometrici, per le piene di riferimento. Le sezioni fino al 1992 sono state ricavate da documentazione disponibile (di proprietà del Magistrato per il Po), mentre per evi-

denziare le modificazioni altimetriche successive a quella data sono state appositamente rilevate sei sezioni, nel 1997.

Il confronto delle sezioni nel tratto da Romagnano all'autostrada Torino-Milano ha messo in evidenza un generale aumento della sezione di deflusso del canale attivo, in conseguenza all'asportazione di grandi quantitativi di materiale in alveo dal 1971 al 1992.

Tale tendenza è confermata dalla comparazione dei livelli idrometrici per piene di riferimento. Per una piena con tempo di ritorno di 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 **figura 2.7.17**).

Per le analisi idrauliche sono stati calcolati i livelli idrometrici tramite un modello idraulico che simula la propagazione idrodinamica della piena con schematizzazione monodimensionale in moto vario, il MIKE11® del *Danish Hydraulic Institute* (DHI, 2001-2004).

Nello stesso tratto, il confronto delle sezioni del 1992 e 1997 mostra invece una tendenza inversa volta al ripascimento dell'alveo (**figura 2.7.18**), in accordo con quanto è emerso dalle analisi morfologiche del tratto alpino del Fiume Sesia, condotte nell'ambito del Progetto CatchRisk prima descritto. Pertanto si può ipotizzare che nel caso si ripetesse un fenomeno di portata analoga a quella del 1968, il corso d'acqua riacquisterebbe la fascia occupata dall'alveo a quella data e l'inondazione potrebbe coinvolgere le stesse aree provocando però danni maggiori, perché nel frattempo è aumentata l'occupazione antropica delle aree prossime al corso d'acqua.

Da Borgosesia a Romagnano e dall'autostrada Torino-Milano alla confluenza del Torrente Cervo, a valle del tratto testè descritto, non è stato possibile fare alcuna considerazione sulle variazioni altimetriche del fondo alveo, per la mancanza di sezioni di confronto.

Un secondo punto focale per la definizione degli scenari di rischio idraulico è stato il riconoscimento dei tratti d'argine a maggior rischio di rottura. L'analisi è stata effettuata in base alle informazioni storiche sulle rotte arginali 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.

A partire dai rilievi topografici delle sezioni d'alveo

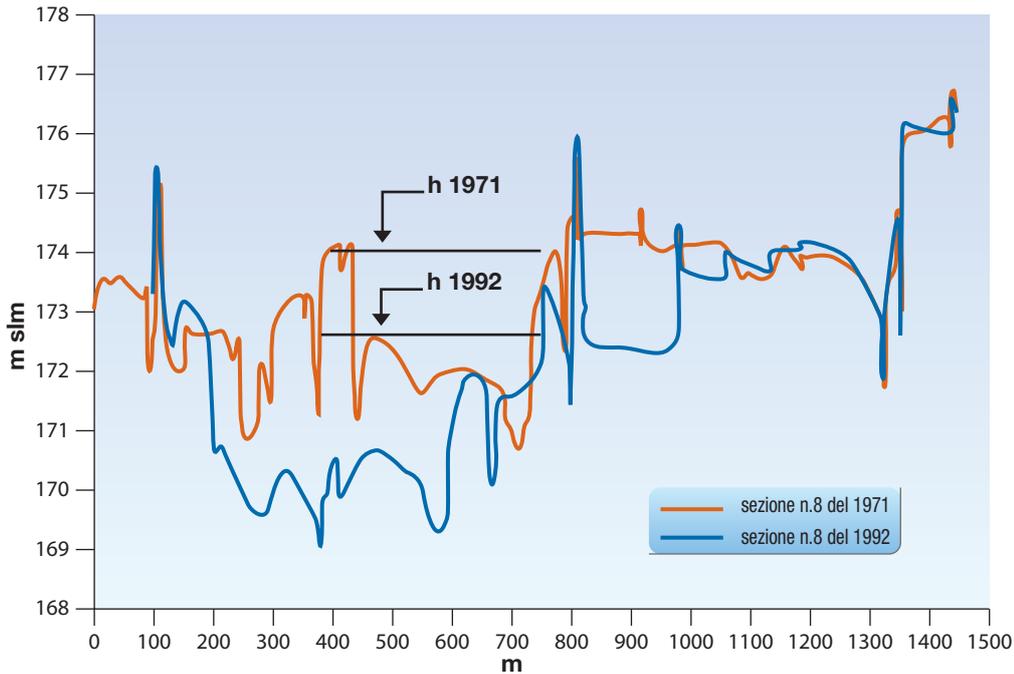


Figura 2.7.17
Sezioni di confronto
1971-1992 del Fiume Sesia
a monte dell'autostrada
Torino-Milano
e livelli idrometrici
per una piena con tempo
di ritorno 20 anni

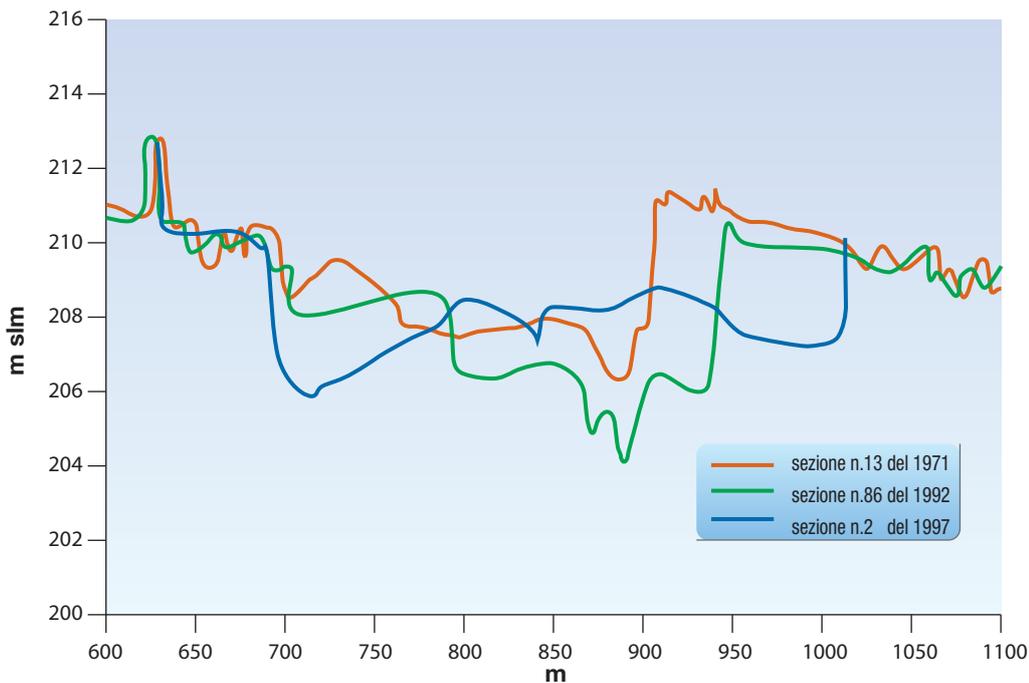


Figura 2.7.18
Sezioni di confronto
1971-1992-1997
del Fiume Sesia
a monte di Carpignano

(rilievo 1992 del Magistrato per il Po), integrati con le sezioni dei ponti, attraverso il modello monodimensionale in moto vario, prima citato, sono stati ricostruiti i profili di piena delle portate rispettivamente con tempo di ritorno 20 e 200 anni.

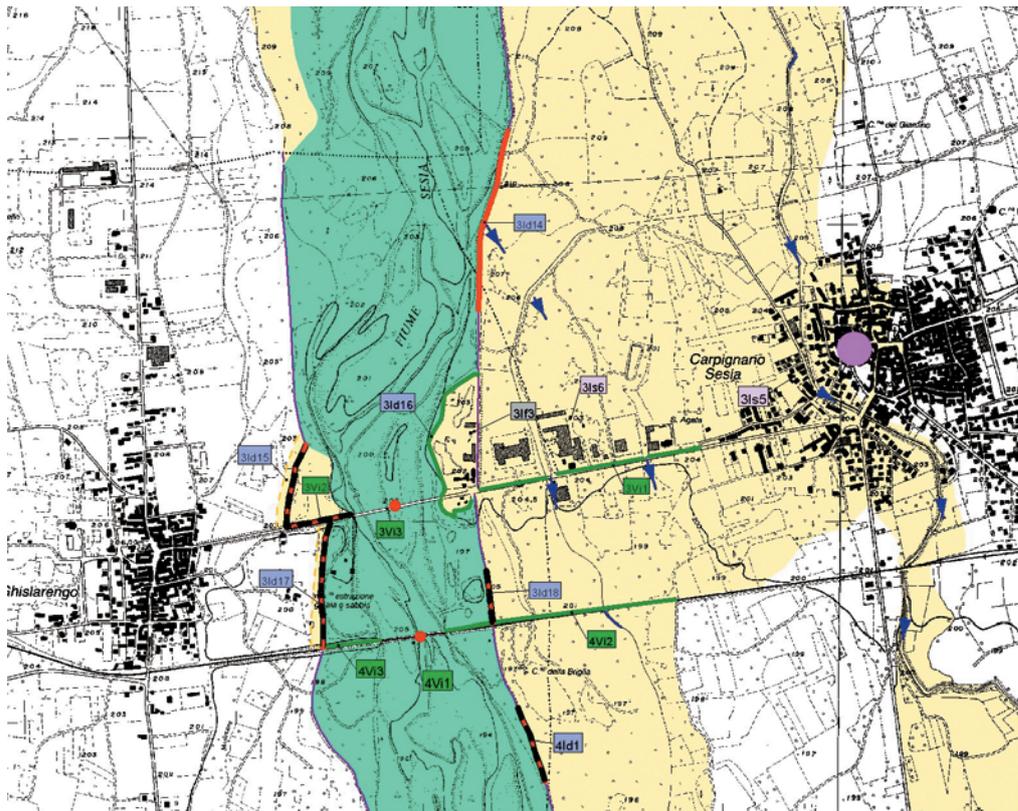
Sono stati quindi verificati i tratti a rischio ed il grado di sicurezza dei ponti. I tratti arginali a rischio di sormonto sono stati individuati confrontando la quota sommitale dell'argine con i profili idraulici delle due piene prese come riferimento. Il grado di sicurezza dei ponti, riferito all'azione dinamica della corrente sull'impalcato, è stato valutato tramite il confronto dei profili di piena con la quota di intradosso del ponte.

Il grado di sicurezza statica dei ponti, riferito allo scalzamento delle fondazioni, è stato classificato in base all'efficienza delle opere di protezione ed all'entità dei fenomeni di erosione in atto.

L'abbassamento generalizzato del fondo alveo 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.

Nell'analisi degli effetti delle piene alcune importanti considerazioni vanno fatte sul ruolo che ha giocato la presenza degli argini lungo il Fiume Sesia. Da Romagnano a Vercelli, nel 1968, era presente un sistema di arginature continuo in sponda destra e

Figura 2.7.19
Esempio di carta
del rischio di inondazione



Legenda

- Opera di presa da tenere sotto controllo durante la crescita della piena
- Opera idraulica
- Infrastruttura
- Insediamento
- Viabilità
- Difesa spondale da tenere sotto controllo con codice di allertamento 2
- Argine da tenere sotto controllo con codice di allertamento 2
- Argine da tenere sotto controllo con codice di allertamento 3
- Ponte di cui deve essere verificata la sicurezza statica con codice di allertamento 2
- Ponte di cui deve essere verificata la sicurezza statica con codice di allertamento 3
- Limite incerto dell'area inondabile
- Via principale di deflusso delle acque di piena con tiranti idrici elevati
- Manufatto in alveo che determina condizioni di impedimento al deflusso della piena
- Centro abitato storicamente interessato da eventi di piena (ultimi duecento anni)
- Argine
- Tratto di argine incerto
- Area inondabile associata a situazione di allertamento con codice 2
- Area inondabile associata a situazione di allertamento con codice 3

Figura 2.7.20
Tabella degli scenari
associata alla carta
del rischio

| Identificativo | Comune | Località | Sponda | Tipo di opera | Livello di allertamento | Descrizione |
|----------------|----------------------------|-------------------------------|----------|---------------------------------|-------------------------|--|
| 3Is5 | Carpignano | Centro abitato | Sinistra | Insediamenti civili | 3 | Allagamento con elevati tiranti idrici per straripamento del cavo Brusca |
| 3V13 | Carpignano | S.P Ghislarengo-Carpignano | Sinistra | Viabilità- Rilevato stradale | 3 | Erosione in corrispondenza dei sottopassi dei canali. L'opera è di impedimento al deflusso della piena |
| 4V12 | Carpignano | F.S Biella-Novara | Sinistra | Viabilità- Rilevato ferroviario | 3 | Possibili erosioni. L'opera è di impedimento al deflusso della piena |
| 3Id17 | Carpignano/ Ghislarengo | A monte dell'area industriale | Sinistra | Opere idrauliche - Argine | 2 | Erosione arginale |
| 3Id17 | Carpignano/ Ghislarengo | A monte dell'area industriale | Sinistra | Opere idrauliche - Argine | 3 | Allagamento con elevati tiranti idrici |
| 3It2 | Ghislarengo | Attività estrattiva | Sinistra | Infrastruttura-Cava | 2 | L'opera è di impedimento al deflusso della piena |

TABELLA 2.7.7 ZONE EDIFICATE PER I COMUNI RICADENTI IN AREE GENETICAMENTE INONDABILI O INONDATE NEL 1994 E NEL 2000, LUNGO IL TRATTO DI FIUME PO STUDIATO

| COMUNI | | EDIFICATO PER CLASSE DI INONDABILITÀ [m ²] | | | | | EDIFICATO INONDATO [m ²] | |
|------------------|------------------------------|--|---------|-----------|-----------|-------------|--------------------------------------|---------|
| Nome | Edificato [km ²] | I | II | III | IV | Totale I-IV | 1994 | 2000 |
| Brandizzo | 1.29 | 0 | 17'565 | 0 | 177'059 | 194'624 | 17'565 | |
| Castiglione T.se | 2.04 | 115 | 33'924 | 480'394 | 267'792 | 782'225 | 33'900 | 17'183 |
| Chivasso | 4.69 | 6'123 | 459'884 | 0 | 0 | 466'007 | 331'746 | 378'710 |
| Gassino T.se | 1.40 | 0 | 0 | 25'962 | 25'962 | 26'216 | | |
| San Mauro T.se | 3.91 | 47'143 | 720'008 | 673'434 | 414'022 | 1'854'607 | 85'666 | 788'112 |
| San Raffaele | | | | | | | | |
| Cimena | 0.87 | 0 | 41 | 0 | 374'243 | 374'284 | 41 | |
| Settimo T.se | 7.10 | 0 | 0 | 360'815 | 1'039'244 | 1'400'059 | | |
| Torino | 53.20 | 25'686 | 579'622 | 1'901'176 | 494 | 2'506'978 | 91'310 | 596'776 |

sinistra che, durante la piena del novembre di quell'anno, risultò inadeguato. Le acque, tracimando o sfondando gli argini in più punti, si sono distribuite su aree esterne, considerate quindi protette; le arginature inoltre hanno anche amplificato gli effetti dell'inondazione, impedendo il rientro delle acque nell'alveo. Poiché la funzionalità del sistema di argini non è migliorata nei trent'anni successivi, il problema si potrebbe riproporre per situazioni analoghe.

Integrando le informazioni derivate dalle analisi sopra descritte sono stati definiti gli scenari di rischio associati ai livelli di allertamento.

Per il livello 2 (moderata criticità), l'area inondabile prevista per piena ordinaria è stata fatta corrispondere alla fascia di deflusso della piena del 1993 (tempo di ritorno di circa 20 anni) con estensione fino agli argini laddove continui; in questo scenario il deflusso della piena avviene prevalentemente all'interno dell'alveo inciso con possibilità di riattivazione dei canali secondari prossimi al corso d'acqua e inondazione delle aree limitrofe più depresse. Solo localmente sono previsti effetti sulle strutture ed infrastrutture prospicienti l'alveo.

Per il livello 3 (elevata criticità), l'area inondabile prevista per piene straordinarie è stata ottenuta dall'involuppo della fascia occupata dai deflussi durante l'evento alluvionale del 2-4 novembre 1968 (tempo di ritorno tra 20 e 200 anni) con l'alveo del 1882; infatti dal confronto delle aree inondate nel 1968 con le aree occupate dai canali attivi del Sesia nel 1882 è emerso come le prime fossero contenute quasi sempre nelle seconde e come le forme ormai relitte, associate all'alveo del 1882, avessero fortemente influenzato la distribuzione dei deflussi. I limiti dell'area inondabile sono stati ulteriormente estesi laddove sono emerse indicazioni di danni frequenti, dall'analisi storica sugli eventi alluvionali. La fascia che ne risulta, in alcuni tratti, è molto ampia in quanto tiene conto della riattivazione di morfologie relitte o di fenomeni di propagazione delle portate attraverso i canali artificiali di derivazione. Il riconoscimento dell'alveo del 1882 ha messo in luce inoltre come

molte aree di pertinenza di quest'ultimo siano state via via occupate da insediamenti civili ed industriali. Alcune di queste aree furono inondate durante la piena del 1968 con il coinvolgimento di molti manufatti, altre, antropizzate successivamente, si possono attualmente considerare in una situazione di rischio.

Tutte le informazioni utili nelle fasi di allertamento e monitoraggio degli eventi, derivate dalle analisi morfologiche, idrauliche e storiche, sono state sintetizzate negli scenari di rischio, classificati in funzione del livello di allertamento della piena prevista e rappresentati in una cartografia alla scala 1:10.000 (**figura 2.7.19**), corredata da tabelle esplicative (**figura 2.7.20**) degli effetti e dei danni attesi. Gli scenari di rischio comprendono anche le opere che devono essere tenute sotto controllo e per le quali sono stati sinteticamente descritti gli effetti dei deflussi, per i due livelli di allertamento.

2.7.7

Conclusioni e sviluppi

L'azione condotta da Arpa Piemonte per la previsione delle piene e dei loro potenziali effetti è volta da un lato all'affinamento degli aspetti previsionali meteorologici, idrologici ed idraulici e dall'altro alla realizzazione di una solida base dati geomorfologica concernente i corsi d'acqua e l'ambiente di pertinenza fluviale, base dati di interesse determinante, non solo per le azioni di protezione civile, ma anche per l'ordinaria gestione del territorio. Le analisi morfologiche sui corsi d'acqua, condotte dal Centro Regionale per le Ricerche Territoriali e Geologiche di Arpa Piemonte hanno l'obiettivo di fornire un quadro delle dinamiche in atto e di prevederne le tendenze future sulla base delle variazioni morfologiche avvenute. I risultati degli studi si concretizzano in carte geomorfologiche e in cartografie di sintesi sulla pericolosità e sul rischio di inondazione, da utilizzarsi come supporti decisionali nelle attività di pianificazione e protezione territoriale.

I comuni di Torino e Chivasso ricadono solo parzialmente nell'area di studio, ma i valori delle aree edificate (colonna 2) sono riferite all'intero territorio comunale.

Un esempio di applicazione della classificazione delle aree a inondabilità genetica nelle attività previsionali di competenza di Arpa Piemonte è l'individuazione delle zone urbanizzate, potenzialmente interessate da eventi di piena, classificate in funzione della priorità di sommersione. Queste informazioni sono importanti nelle attività di allertamento, perché permettono di avere un quadro, anche se indicativo sulla distribuzione dei soggetti a rischio; è così possibile infatti porre l'attenzione in particolar modo a quelle municipalità per le quali sia prevedibile il coinvolgimento di zone abitate, soprattutto se in classi di inondabilità I, II.

La classificazione delle aree inondabili in funzione degli effetti attesi, permette inoltre di conoscere a priori le aree che potrebbero essere interessate dal passaggio di correnti ad alta energia, con capacità di danneggiare seriamente le cose e di rendere difficili le operazioni di evacuazione delle persone eventualmente presenti. Infatti, opere trasversali alle zone ove si sono riconosciute forme d'alveo abbandonate ma riattivabili, quali antichi canali, potrebbero essere investite e distrutte, con grave pericolo, qualora si tratti di arginature, per le aree a tergo e con grave rischio di isolamento per le comunità che dovrebbero servire, qualora si tratti di opere stradali. Tale classificazione si basa anche sul riconoscimento di forme abbandonate attualmente per nulla o poco incise, riconoscibili solo attraverso l'analisi specialistica di riprese aeree o delle cartografie più antiche.

Per questo motivo, l'approccio morfologico all'inondabilità permette anche di contestualizzare meglio gli studi idraulici, perché fornisce una visione morfologica del territorio, evidenziando anche le micro-morfologie, irrilevanti dal punto di vista topografico ma estremamente condizionanti le dinamiche dei deflussi.

In situazioni di forte urbanizzazione, nella delimitazione delle aree a rischio di inondazione, l'approccio morfologico d'altro canto trova un'applicazione limitata. Infatti, nel caso in cui le acque di piena coinvolgano zone urbanizzate, l'estensione delle aree allagate, i livelli di energia raggiunti dalla corrente e le vie preferenziali di deflusso vengono influenzati, più che dalla morfologia del terreno, dalla distribuzione e dalla densità di opere strutturali quali edifici, strade, ponti e rilevati. Da qui la necessità di porre in atto altre tipologie di analisi, quali le analisi storiche (Giampani & Loi, 2000) e la modellazione idraulica.

Tutte le analisi territoriali qui descritte sono state effettuate secondo i principi dei Sistemi Informativi Geografici che permettono realizzare basi dati condivisibili e aggiornabili.

Ma per poter sfruttare le potenzialità dei Sistemi Informativi Geografici è indispensabile disporre di basi dati omogenee e semanticamente corrette e univoche, basate su un linguaggio comune e su procedure condivise da applicarsi già nelle fasi di creazione del dato, ovvero già dal momento del rilevamento (di terreno o di fotointerpretazione). Per questo motivo Arpa Piemonte ha predisposto una serie di strumenti e di procedure dedicate ai rilevatori perché possano realizzare già in fase di produzione del dato cartografie numeriche secondo un'ottica GIS. Il risultato di questo lavoro sono strumenti informatici e manuali d'uso volti a trasformare le cartografie dei singoli esperti coinvolti nelle analisi fluviali in un *unicum* di dati omogenei, comprensibili e condivisi da tutti.

Il Progetto *Floodaware* infine rappresenta un esempio metodologico per la mappatura delle aree a rischio di inondazione dove le analisi idrauliche, morfologiche e storiche degli idrosistemi si sintetizzano in un approccio interdisciplinare, per la definizione scenari di rischio reali, calati nel territorio, che indicano vere e proprie azioni da compiersi nelle fasi di allertamento e di emergenza, secondo i livelli di criticità stabiliti nell'ambito sistema di allerta regionale. Questo lavoro si può quindi porre come studio di base del rischio, su cui le amministrazioni territorialmente competenti, possono predisporre i propri piani di protezione civile e definire le azioni di salvaguardia da attivare conseguentemente alle valutazioni previsionali e di sorveglianza del Centro Funzionale regionale deputato a tale compito.

Bibliografia

I lavori contrassegnati da asterisco non sono citati esplicitamente nel testo.

*APAT, Sistema Nazionale di Osservazione ed Informazione Ambientale (2005), *Prima definizione di modelli revisionali per qualificare e quantificare gli effetti dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi*. Rapporto 03-19.

*ART, Ambiente Risorse e Territorio (2004), *Fiume Sesia, Relazione metodologica e di Sintesi*. Programma INTERREG IIIB Spazio alpino, Progetto CatchRisk: Mitigation of hydro-geological risk in alpine catchments – Definizione delle aree geneticamente inondabili e della loro pericolosità relativa in ambiente fluviale, pp. 158, Rapporto interno.

*ART, Ambiente Risorse e Territorio (2004), *Fiume Po, Relazione metodologica e di sintesi*. Programma Interreg IIIB Spazio alpino Progetto CatchRisk: Mitigation of hydro-geological risk in alpine catchments – Definizione delle aree geneticamente inondabili e della loro pericolosità relativa in ambiente fluviale, pp. 11, Rapporto interno.

*ART, Ambiente Risorse e Territorio (2004), *Linee-guida*. Programma Interreg IIIB Spazio alpino, Progetto CatchRisk: Mitigation of hydro-geological risk in alpine catchments, Definizione delle aree geneticamente inondabili e della loro pericolosità relativa in ambiente fluviale, pp. 36, Rapporto interno.

*Autorità di Bacino del Fiume Po (1997), *Piano Stralcio per la difesa idrogeologica e della rete idrografica nel bacino del Po*.

AA.VV. (2005a), *Guidelines*. Programma INTERREG IIIB Spazio alpino Progetto Catchrisk: Mitigation of Hydro-Geological Risk In Alpine Catchments, Arpa Piemonte.

*AA.VV. (2005b), *Final Report*. Programma INTERREG IIIB Spazio alpino Progetto Catchrisk: Mitigation of Hydro-Geological Risk In Alpine Catchments, Regione Lombardia.

*Barbero S. & Giampani C. (1998), *Mappatura delle aree a rischio di inondazione finalizzata alla gestione dell'emergenza*. In Atti XXVI Convegno Idraulico e Costruzioni Idrauliche, Catania, 9-12 settembre 1998, vol. III, pp. 3-14, Ed. CUECM.

*Barbero S., Graziadei M. & Rabuffetti D. (2003), *Analisi Idrometrica*, in Regione Piemonte, *Eventi Alluvionali in Piemonte – Evento del 13-16 Ottobre 2000*, vol. I, pp. 45-57, ARES, Arti Grafiche – Torino.

Bellardone G. & Forlati F. (1996a), *Torrente Orco tratto di pianura*, in Regione Piemonte, *Gli*

eventi alluvionali del settembre – ottobre 1993 in Piemonte, pp. 71-80, L'artistica di Savigliano, Torino.

Bellardone G. & Forlati F. (1996b), *Bacino della Dora Baltea*, in Regione Piemonte, *Gli eventi alluvionali del settembre – ottobre 1993 in Piemonte*, pp. 54-62, L'artistica di Savigliano, Torino.

Bellardone G. & Giampani C. (2003), *Fiume Dora Baltea, nel tratto piemontese*, in Regione Piemonte, *Eventi Alluvionali in Piemonte – Evento del 13-16 Ottobre 2000*, vol. I, pp. 130-142, ARES, Arti Grafiche – Torino.

*Bortolami G.C., Campanino F., Carraro F., Clari P.A., Forno G.G., Ferrero E., Ghibauda G., Maso V. & Ricci B. (1978), *Dati preliminari sulla neotettonica dei Fogli 56 (torino), 68 (Carmagnola) e 80 (Cuneo)*. Estratto da: Contributi preliminari alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia. Pubb. N. 155 del Progetto Finalizzato Geodinamica, pp. 149,180.

Carraro F., Dal Piaz G.V. & Sacchi R. (1970), *Studio geologico di un settore a sud di Vercelli*, in *Studi geologici nel Vercellese e nella Valle Strona*, pp. 121-141, Sirea Print, Torino

Carraro F. (1992), *Evoluzione Plio Quaternaria*, in AAVV, *Le Alpi, dal M. Bianco al Lago Maggiore*. Guide Geologiche d'Italia, 3/vol. I, pp 84-89, BE_Ma editrice, Roma, 1992.

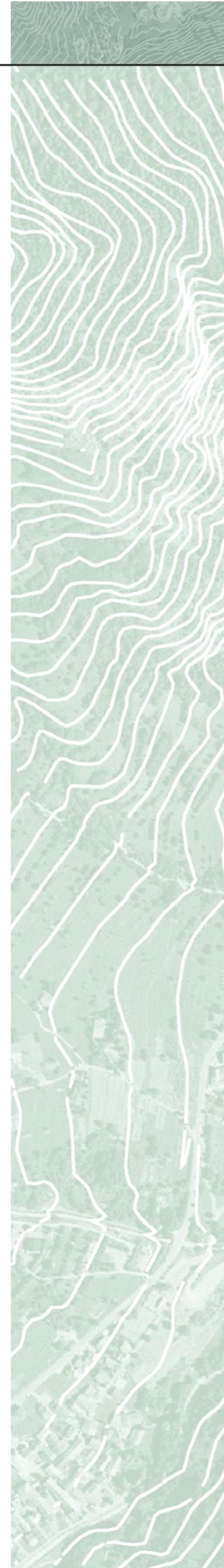
*Compagnoni R. & Forno M.G (1992), *Significato geologico di depositi fluviali ghiaiosi Pleistocenici medi nella collina di Torino*. Il Quaternario 5, (1), pp. 105-122.

DHI Water & Environment (2001-2004), *MIKE 11® A modelling system for river channels*. Reference Manual.

*Forno M.G. (1980), *Evidenza di un drenaggio abbandonato nel settore settentrionale dell'altopiano di Poirino (prov. Di Torino)*. Geografia Fisica e Dinamica del Quaternario, 3 pp. 61-65, 3 ff.

Giampani C. & Loi B. (2000), *L'analisi dei dati storici nella delimitazione delle aree urbane a rischio di inondazione: il caso di Vercelli*. Geam Geoingegneria Ambientale e Mineraria, giugno-settembre 2000 pp. 135-142.

Maraga F. (1989), *Ambiente fluviale in trasformazione: l'alveo-tipo pluricursale verso un nuovo modellamento nell'alta pianura padana*, in Suolo sottosuolo Atti del Congresso "Suolosottosuolo", vol.1, pp. 119-128, Associazione Mineraria Subalpina, Torino 27-30 settembre 1989.



*Maraga F. & Turitto O. (1998), *Diagnosi geomorfologica d'inondabilità in casi di studio sull'idrografia padana*, in: Luino F. (a cura di), *La previsione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica*. Atti del Convegno Internazionale "Alba 96", vol. II, p. 313-334, Pubblicazione Gruppo Nazionale Difesa Catastrofi Idrogeologiche, n. 1006, L'Artistica di Savigliano.

Ministero di Lavori Pubblici, Servizio Idrografico (1969) *Alluvione dei giorni 1-3 Novembre 1968 sul territorio della Liguria e del Piemonte*, suppl. al Bollettino Idrografico del mese di Novembre 1968, pp. 14, Tipografia Edigraf, Roma.

Nigrelli G. (2005), Vezzolano: *inquadramento naturalistico*. Natura Web 2005.

Ortolani F. & Pagliuca S. (2001), *Le variazioni climatiche storiche e la prevedibilità delle modificazioni relative all'effetto serra*. Associazione Italiana Nucleare, Roma.

Polino R. & Sacchi R. (1995), *Rapporti Alpi-Appennino*, Atti II Incontro Internazionale dei Giovani Ricercatori in Geologia Applicata, Peveragno (CN).

*Ramasco M., Giampani C. & Aliatta P. (2001), *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*. Collana Informativa tecnico Scientifica ARPA Piemonte Quaderno n° 8.

Ravera S., Buffo M., Cavallero E. & Tresso F. (1996), *Aspetti ideologici dell'evento dei giorni 22-24 settembre 1993*, in AA.VV. *Gli Eventi alluvionali del Settembre Ottobre 1993*, in Piemonte, pp. 27-31, L'artistica di Savigliano, Torino.

Regione Piemonte (1998), *Eventi alluvionali in Piemonte - 2-6 novembre 1994, 8 luglio 1996, 7-10 ottobre 1996*, vol. I pag. 414, L'artistica di Savigliano, Torino.

Rosgen D. (1994), *A classification of natural river*. Catena, vol. 22, 169-199.

Visentini M. (1952), *Igiene e terapeutica del Po*, in *La Rotta del Po*, Ulisse, Anno, VI, vol. III, Fascicolo XVII, pp. 552-565.

Cartografie

*Bellardone G. & Tamberlani F. *Carta numerica dei processi e degli effetti associati al passaggio della piena del torrente Orco: evento alluvionale del 23-25 settembre 1993, tratto Cuorné-confluenza Po*. Scala 1:10.000, Regione Piemonte Repertorio Cartografico.

*Bellardone G., Forlati F. & Tamberlani. F. *Carta numerica dei processi e degli effetti associati al*

passaggio della piena del fiume Dora Baltea: evento alluvionale del 23-25 settembre 1993. tratto Carema-Ivrea. Scala 1:10.000, Regione Piemonte Repertorio Cartografico.

*Bellardone G. & Giampani C. (2003), *Carta numerica: del campo di inondazione ed effetti indotti dalla piena del 13-16 ottobre 2000 della Dora Baltea nel tratto piemontese*, Scala 1:10.000. Arpa Piemonte.

Dutto F. (1993), *Carta degli alvei attivi del F, Po tra il 1958 e il 1988*, in Piano territoriale del fiume Po, 1993.

*Giampani C. & Ramasco M. *Carta numerica del campo di inondazione ed effetti indotti dalla piena del 2-3 novembre 1968 del fiume Sesia. tratto Borgosesia-confluenza Cervo*. Scala 1:10.000, Regione Piemonte Repertorio Cartografico.

*Giampani C. & Ramasco M. *Carta numerica delle tendenze evolutive del fiume Sesia dal 1954 al 1994, tratto Borgosesia-Vercelli* Scala 1:10.000, Regione Piemonte Repertorio Cartografico.

*Giampani C. & Ramasco M. *Carta numerica delle modificazioni dell'alveo del fiume Sesia dal 1851 al 1994. tratto Romagnano-Vercelli*. Scala 1:10.000, Regione Piemonte Repertorio Cartografico.

Mensio L. (1996), *Carta numerica del campo di inondazione ed effetti indotti dalla piena del 04-06 novembre 1994 del fiume Po in provincia di Torino*. Scala 1:10.000, Regione Piemonte Repertorio Cartografico.

*Giampani C. & Aliatta P. (1996), *Carta numerica dei processi e degli effetti associati al passaggio della piena del fiume Dora Baltea: evento alluvionale del 23-25 settembre 1993, tratto Ivrea-confluenza Po*. Scala 1:10.000, Regione Piemonte Repertorio Cartografico.

*Giampani C., *Carta numerica dei processi e degli effetti associati al passaggio della piena del fiume Sesia: evento alluvionale del 23-25 settembre 1993, tratto Borgosesia-confluenza Po*, inedita.

Paro L. (2003), *Carta numerica del campo di inondazione ed effetti indotti dalla piena del 13-16 ottobre 2000 del fiume Po nel tratto Torino, confluenza Dora Baltea*, Scala 1:10.000. Arpa Piemonte.

Susella G, Bormioli D. & Gallo M. (2003), *Carta numerica del campo di inondazione ed effetti indotti dalla piena del 13-16 ottobre 2000 del torrente Orco nel tratto Cuorné, Chivasso*, Scala 1:10.000. Arpa Piemonte.