

La collana cui appartiene il presente testo riporta, in termini sintetici, risultanze emerse nel corso del progetto GERIA (Gestione dei Rischi Ambientali – programma INTERREG II) in merito ad uno dei vari aspetti in esso trattati.

Pare opportuna, a riguardo, una premessa di generale “inquadramento” di detto progetto, anche in relazione al più ampio quadro di iniziative che la Regione Liguria sta assumendo sul tema della difesa del suolo e della prevenzione e mitigazione dei rischi naturali. Iniziative volte a favorire i processi di integrazione delle capacità e potenzialità degli enti che operano nel territorio, alle diverse scale di competenza. E’ in tale ottica che si colloca l’esperienza “GERIA”, di cui una prima fondamentale caratterizzazione è stata proprio l’aver posto “allo stesso tavolo” i ruoli omologhi delle diverse amministrazioni, rendendole partecipi delle scelte e degli sviluppi delle diverse fasi di attività. Ciò in stretto contatto con le realtà locali dei territori esaminati. Detta compartecipazione ha riguardato sia la parte italiana che quella francese ed è stata impostata in modo organico, attraverso la preventiva istituzione di appositi comitati e gruppi di lavoro.

Del tutto originale è stato il tipo di approccio alle tematiche prese in esame. Esso infatti si è valso di competenze scientifiche altamente qualificate nei diversi settori di pertinenza, promuovendone un’integrazione, proficua di risultanze innovative, anche sinergiche rispetto alle originali visioni settoriali.

Il progetto ha avviato un rinnovato e più organico rapporto tra Amministrazioni Pubbliche ed Università, attraverso una impostazione metodologica ed una prassi operativa che ha chiamato in causa entrambe le realtà per gli aspetti di più logica pertinenza e capacità. Ne sono derivate risultanze trasferibili nella prassi della gestione del territorio, sia direttamente che attraverso successivi approfondimenti e precisazioni.

Il tema dei rischi naturali costituisce in oggi uno dei principali “nodi problematici” che le pubbliche amministrazioni devono affrontare, con ripercussioni economiche spesso rilevanti ed incerte ed a fronte di uno “ stato della conoscenza” poco capace di risposte utilizzabili nei processi decisionali, che abbisognano di dati sintetici, comparabili anche sul piano sociale ed economico. Con la promozione del progetto GERIA la Regione Liguria arricchisce il processo avviato con le attività di pianificazione di bacino e di protezione civile per affrontare tali problemi, predisponendo le diverse strutture non solo a determinare ma anche a porre in pratica le soluzioni trovate. Ciò sia sul piano tecnico che su quello normativo e gestionale.

Il Direttore del Dipartimento
Tutela dell’Ambiente ed Edilizia
Ing. Mario Fracchia

GE.R.I.A.

IL PROGETTO

Ha avuto ad oggetto il tema dei rischi naturali, considerati sia in relazione alle singole tipologie di possibili eventi (sismi, esondazioni, incendi, frane) che in termini di effetti integrati degli stessi.

Le attività hanno avuto come riferimento un ambito territoriale interfrontaliero, delimitato dall'area costiera tra Nizza e Imperia, che abbraccia l'entroterra per una fascia dell'ordine di 15 – 20 Km. Sono stati realizzati approfonditi studi ed elaborazioni, che hanno preso in considerazione sia la "pericolosità", che la "vulnerabilità" e il "danno temuto" delle categorie di "esposto vulnerabile" di maggiore significatività alle diverse scale di riferimento. Questo per ogni tipologia di possibile evento calamitoso. Attraverso la determinazione e simulazione di appositi scenari è stato possibile produrre valutazioni sulla vulnerabilità non solo di tipo "fisico o strutturale" ma anche di tipo "sistemico", legata cioè all'incidenza sui più generali livelli di funzionalità dei tessuti urbani e dei sistemi territoriali. Sono state altresì affrontate problematiche di specifico interesse per le amministrazioni pubbliche, riferibili ad azioni volte alla prevenzione e/o mitigazione del rischio, che hanno tenuto conto delle differenti situazioni vigenti tra le due realtà nazionali, anche sul piano normativo e procedurale.

Sotto il profilo scientifico il progetto è risultato particolarmente innovativo, sia nei singoli campi disciplinari che per gli effetti sinergici che sono derivati dalla messa in comune delle competenze e capacità delle diverse equipe. A riguardo, per parte italiana, hanno operato, in modo organico e strettamente integrato, competenze di cinque diverse strutture dell'università di Genova, appartenenti a due diverse Facoltà. L'impostazione data al progetto e la conseguente costituzione di appositi comitati (vedere schemi successivi) ha consentito la fattiva partecipazione, ai diversi livelli di riferimento, di tutte le amministrazioni pubbliche interessate alle tematiche in esame. Attraverso l'attività di specifici "gruppi di lavoro" sono stati coinvolti anche altri organismi, sia pubblici che privati, che operano nel territorio considerato. Attraverso il collegamento tra competenze omologhe (liaison) sia italiane che francesi, è stato possibile favorire confronti ed interscambi diretti tra le diverse situazioni ed esperienze.

I DOSSIERS TEMATICI

Sono stati realizzati al fine di consentire una maggiore divulgazione, sia pur sintetica, dell'attività e delle risultanze acquisite nel progetto, su aspetti di diffuso interesse. Le tematiche trattate sono state pertanto esposte cogliendone aspetti essenziali ed evitando, per quanto possibile, terminologie o precisazioni troppo settoriali. Obiettivo è stato l'inquadramento delle questioni trattate e non le specifiche tecniche delle risultanze conseguite. Queste ultime sono state indicate in termini generali citando, con apposite note, le fonti e/o modalità di possibile approfondimento.

IL PRESENTE DOSSIER

Con più specifico riferimento al "momento dell'emergenza" nel presente dossier sono evidenziati taluni aspetti salienti dell'assetto organizzativo-gestionale della Protezione Civile. Sono altresì poste in evidenza criticità diffuse, riferibili principalmente alla situazione italiana. Nel merito, sulla base delle esperienze maturate nel progetto GERIA, sono fornite indicazioni propositive nei differenti campi di azione, al fine di perseguire negli stessi maggiori livelli di efficacia. Dette indicazioni sono riferibili sia alla gestione della possibile emergenza che, più in generale, alle azioni di prevenzione e mitigazione dei rischi.

Pietro Ugolini

GE.RI.A.

Comitato di Gestione (Università di Genova)
Coordinamento scientifico: Prof. Pietro Ugolini

Giorgio Roth	CIMA	Rischio idrogeologico; ingegneria ecologica
Riccardo Minciardi	CIMA Modellistica	Modellistica matematica, strumenti informatici e tecniche decisionali; metodiche di mappatura dei rischi ambientali; determinazione di scenari di rischio
Pietro Ugolini	CIMA/D.E.U.I.M	Aspetti pianificatori, gestionali e normativi a livello urbano e territoriale. Vulnerabilità sistemica.
Antonio Chirico	D.E.U.I.M	
Claudio Eva	DIP.TE.RIS	Valutazione della pericolosità sismica; analisi ai fini della determinazione di scenari di rischio; sperimentazione di tecniche speditive di microzonazione
Sergio Lagomarsino	D.I.S.E.G.	Vulnerabilità sismica degli insediamenti e delle infrastrutture, del costruito e del patrimonio storico e monumentale; vulnerabilità fisica
Roberto Passalacqua	D.I.S.E.G.	Aspetti di geotecnica, per la difesa del suolo

Comitato Referente – Regione Liguria
Responsabili: Ing. Mario Fracchia
Ing. Stefano Massone
Referente regionale: Dott.ssa Giovanna Gorziglia

Mario Fracchia	Assetto del Territorio e controllo tecnico
Stefano Massone	Assetto del Territorio e controllo tecnico
Giovanna Gorziglia	Assetto del Territorio e controllo tecnico
Daniela Minetti	Politiche e Programmi Ambientali
Sergio TorreLaura Levi	Edilizia Abitativa e Scolastica
Gianni Gaggero	Pianificazione Territoriale
Antonino Rossi	Urbanistica
Giuseppe Stoppelli	Ispettorato Funzioni Agricole
Anna Cerrato	Sistemi Informatici
Anna Doris Genesis	Protezione Civile
Gianfilippo Micillo	Corpo Forestale dello Stato Coordinamento Provinciale Imperia

COMITATO DI PILOTAGGIO	
Funzioni: Sede di promozione ed organico coinvolgimento della realtà locale. Ambito di competenza e riferimento di scelte pianificatorie e gestionali dei territori considerati	
ITALIA	FRANCIA
COMPOSIZIONE	COMPOSIZIONE
Presidenza	Prefecture (Direction de la Protection Civile)
Provincia di Imperia	Conseil General des Alpes Maritimes
Componenti	Conseil Regional Provence Alpes Cote d'Azur
Regione Liguria	<i>Communes concernees par le projet</i>
Comune di Cervo	DATAR
Comune di Imperia	DIREN- Direction de l'Environnement
Comune di Sanremo	DRIRE - Direction Régionale Régionale de L'Industrie de la recherche et de l'Environnement
Comune di Taggia	DRAF - Direction Régionale de l'Agriculture et des Foretes
Comune di Ventimiglia	DDAF – Direction Departementale Régionale de l'Agriculture et des Foretes
Aderenti	DRE - - Direction Régionale Régionale de l'Environnement
Comunità Montane (n. 2) C. M. Intemelia C. M. Argentina-Armea	DDE - Direction Départementale de l'Equipement
Comuni (n. 46) Airole, Apricale, Badalucco, Baiardo, Bordighera, Borgomaro, Camporosso, Carpasio, Castellaro, Ceriana, Chiusanico, Chiusavecchia, Cipressa, Civezza, Costarainera, Diano Arentino, Diano Castello, Diano Marina, Diano San Pietro, Dolceacqua, Dolcedo, Isolabona, Lucinasco, Montaldo Ligure, Olivetta San Michele, Ospedaletti, Perinaldo, Pietrabruna, Pontedassio, Prela', Riva Ligure, Rocchetta Nervina, San Bartolomeo Al Mare, San Lorenzo Al Mare, Santo Stefano Al Mare, Seborga, Soldano, Terzorio, Vallebona, Vasia, Villa Faraldi.	DDSSIS – Direction Départementale des Services d'Incendies et de Secours
	DDASS – Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales
	CIRCOSC de Vallabre
	ONF – Office National des Forets
	METEO FRANCE

Comitati costituiti nell'ambito del Progetto GERIA

1. CARTA DELLE AREE STORICAMENTE INONDATE	6
2. CARTA DELLE INONDAZIONI STORICHE	7
3. CARTA D'INONDABILITÀ	7
3.1. SOLLECITAZIONE PLUVIOMETRICA.....	8
3.2. PORTATE AL COLMO DI PIENA	9
3.3. PROFILI IDRICI IN ALVEO	11
3.4. ESONDAZIONE DELLA PORTATA SENZA PIÙ RECAPITO CERTO IN ALVEO	11
3.5. PROPAGAZIONE DELLA PIENA IN AMBIENTE URBANO	12
3.5.1. <i>Modello concettuale e matematico</i>	12
3.5.2. <i>Topografia del territorio</i>	15
3.5.3. <i>Applicazione al Roja in Ventimiglia</i>	16
3.5.4. <i>Evoluzione dello scenario</i>	17
3.5.5. <i>Propagazione della piena per T=50 anni</i>	18
3.5.6. <i>Propagazione della piena per T=200 anni</i>	18
3.5.7. <i>Propagazione della piena per T=500 anni</i>	19
3.6. CARTA DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA	19
4. VULNERABILITÀ E FUNZIONALITÀ	21
4.1. CONCETTO DI VULNERABILITÀ.....	21
4.2. IDENTIFICAZIONE DELLE ENTITÀ.....	22
4.3. STIMA DELLA FUNZIONALITÀ RESIDUA	22
5. PERDITA DI FUNZIONALITÀ INDOTTA	26
5.1. APPROCCIO CONCETTUALE	26
5.2. APPLICAZIONE AL CASO DEL RISCHIO IDRAULICO	27
6. CONCLUSIONI	30
BIBLIOGRAFIA	31

1. Carta delle aree storicamente inondate

Per quello che riguarda la pericolosità, in Francia sono elaborate carte in cui si riportano i limiti raggiunti da inondazioni “eccezionali millenarie” mentre nell’approccio italiano si fa riferimento a principi differenti. Non si ritiene infatti significativa una perimetrazione delle aree soggette a piene millenarie per due ragioni principali:

1. la perimetrazione delle aree inondabili presenta, secondo la normativa italiana, una forte influenza su altri livelli di pianificazione ed è alla base di una serie di vincoli normativi su edificabilità e destinazione d’uso delle aree. Occorre quindi una distinzione tra aree soggette a diversi gradi di pericolosità, per le quali si applicano differenti vincoli normativi. Un’identificazione delle aree a rischio solo sulla base delle portate millenarie obbligherebbe ad applicare vincoli blandi anche in aree soggette a pericolosità elevata;
2. la stima delle piene millenarie risente particolarmente dell’incertezza sulle valutazioni statistiche. Tali incertezze possono essere anche dello stesso ordine di grandezza dei valori attesi delle portate stimate. Questo fa sì che tali portate non siano adatte per stabilire normative restrittive, in quanto l’incertezza si propaga anche sull’identificazione delle aree soggette alla pericolosità in esame. Al fine di ridurre l’incertezza, la normativa italiana non contempla valori della pericolosità legati a periodi di ritorno superiori ai 500 anni. Peraltro, le aree soggette a un rischio così basso sono anche soggette a vincoli minimi.

Il prodotto italiano fornisce un’informazione differente e più articolata rispetto a quello francese, ma non per questo non integrabile con esso; tale prodotto, per l’area in esame, consiste nella carta delle aree storicamente inondate, approvate dalla Regione Liguria con Deliberazione N° 2615 del 28/12/1998. L’esigenza di realizzare tale carta nasce dalla consapevolezza che “i ripetuti e gravi eventi alluvionali del 1992 e 1993, e quindi ancora del 1994 e 1995, nonché quelli più recenti del settembre-ottobre 1998 hanno provocato, oltre a danni materiali ingenti, la perdita di numerose vite umane e che tali eventi rendono necessario nonché urgente, anche a fronte della sopravvenuta legislazione, procedere, ai sensi del comma 1, dell’articolo 6, della L.R. 45/1996, alla mappatura delle aree a rischio di inondazione”, definita come “evento calamitoso di maggiore frequenza sul territorio regionale ligure”.

Si tratta di una carta provvisoria, redatta sulla base dell’informazione disponibile in modo da far fronte all’urgenza di giungere ad una prima definizione delle aree a rischio, e realizzata partendo dalle dichiarazioni dei comuni colpiti dalle alluvioni. Si fonda pertanto su dati reali, senza avere però alcun significato probabilistico né discriminare in alcun modo sulla gravosità dell’evento in questione. La Regione Liguria, con delibere successive, ed anche in base al d.l. 180/98, sta procedendo all’integrazione con i Piani Stralcio per rischio idrogeologico, nei quali si effettua una valutazione statistica e uno studio idrologico volto alla perimetrazione delle aree inondabili per assegnato tempo di ritorno dell’evento, secondo metodologie analoghe a quelle che saranno utilizzate nello studio specifico di seguito riportato.

La carta delle aree storicamente inondate può essere integrata con quella francese relativa all’estensione delle piene millenarie in quanto, pur partendo da concetti diversi, realizzano una zonizzazione di quelli che sono i corsi d’acqua che presentano un maggior rischio di esondazione e perimetrano aree potenzialmente inondabili. L’unione della carta italiana con quella francese è riportata in Figura 1.1.

Figura 1.1: Individuazione delle aree a maggior rischio di inondazione

2. Carta delle inondazioni storiche

Per quello che riguarda la realizzazione di una carta in cui si riporta un censimento delle inondazioni che hanno colpito ciascun Comune e in cui si individuano i Comuni più colpiti, è stata realizzata una carta in cui ad ogni Comune è associato il numero di inondazioni che lo hanno colpito. In questo caso l'approccio seguito è lo stesso: questo permette di realizzare carte comuni di assoluta omogeneità.

La carta italiana è stata realizzata partendo dalle informazioni raccolte nell'ambito del progetto Aree Vulnerate Italiane (AVI); nel 1989 il Dipartimento della Protezione Civile ha commissionato al Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche, il censimento delle aree del paese colpite da frane e da inondazioni per il periodo 1918-1990. Il censimento è stato condotto fra il 1991 ed il 1994. Tutte le notizie censite sono andate a costituire un archivio digitale contenente oltre 7000 informazioni relative ad inondazioni. Si è anche provveduto a valutare il grado di completezza e di affidabilità dell'archivio storico, controllando in particolare la consistenza dell'informazione in esso contenuta, e correggendo la maggior parte degli errori. Nonostante le numerose limitazioni, dovute alla complessità del territorio italiano, alla diversa sensibilità e conoscenza, sia attuale che storica, dell'impatto che le frane e le inondazioni hanno sul territorio, il censimento rappresenta il più completo ed aggiornato archivio di notizie su frane ed inondazioni avvenute in questo secolo mai realizzato in Italia. La carta di unione dei risultati francesi ed italiani è riportata in Figura 2.1. Il Comune di Ventimiglia è tra quelli più colpiti da eventi alluvionali: si contano infatti più di dieci eventi significativi. Questa osservazione, insieme alla considerazione che sono presenti aree storicamente inondate piuttosto estese, ha portato a scegliere come area per lo studio specifico il torrente Roja, con particolare attenzione al tratto che attraversa l'abitato di Ventimiglia.

Figura 2.1: Individuazione dei comuni più colpiti da inondazioni

3. Carta d'inondabilità

Dopo aver messo in evidenza le problematiche del rischio idrologico – idraulico su larga scala, è stato svolto uno studio specifico sul torrente Roja, ed in particolare sulla sua asta terminale in corrispondenza dell'attraversamento della città di Ventimiglia. Obiettivo di questo studio è quello di individuare e valutare una procedura metodologica di validità generale al fine di determinare le criticità, cioè i tratti in cui le sezioni del corso d'acqua non sono più sufficienti al deflusso delle portate considerate, e di affrontare il problema del connesso rischio d'inondazione in ambiente urbano. Per realizzare detto studio sono proposte ed utilizzate alcune innovazioni metodologiche, soprattutto per quello che concerne le tecniche finalizzate all'individuazione delle aree inondabili, della pericolosità e del rischio. La metodologia seguita per il raggiungimento degli obiettivi dello studio sull'area specifica, che garantisce una sufficiente affidabilità e flessibilità dei risultati conseguiti, è schematizzabile come segue:

1. determinazione della sollecitazione pluviometrica;
2. determinazione delle portate al colmo di piena per tempi di ritorno significativi (50, 200 e 500 anni);
3. determinazione dei profili di rigurgito associati a tali portate;
4. studio dell'esondazione della portata senza più recapito certo in alveo;

5. definizione del modello di propagazione dell'onda di piena in ambiente urbano;
6. determinazione delle aree inondabili e quindi della carta di pericolosità.

3.1. Sollecitazione pluviometrica

Il presente paragrafo riassume, in estrema sintesi, la procedura seguita per la determinazione della sollecitazione pluviometrica, realizzata dal CIMA, su commissione della Regione Liguria, nell'ambito dello studio sulla regionalizzazione delle piogge e delle portate di piena sul territorio ligure (*Caratterizzazione delle precipitazioni intense e delle portate di piena per i bacini liguri, 1999*). Ai fini del presente lavoro, tale procedura è stata applicata ad un insieme steso di dati pluviometrici, includente stazioni francesi della Costa Azzurra.

La caratterizzazione statistica delle precipitazioni intense in una determinata porzione di territorio è un problema complesso nel quale una serie di fattori intervengono a condizionare le scelte metodologiche. Le finalità dell'analisi rappresentano senza dubbio il fattore maggiormente condizionante. Quando, come nel caso presente, le analisi siano finalizzate alla caratterizzazione delle portate al colmo di piena per un bacino non si può prescindere da considerazioni che riguardano l'omogeneità della procedura su tutta la porzione del territorio considerata e le scale spaziali e temporali caratteristiche dei bacini idrografici interessati. Nell'ambito dello studio precedentemente introdotto, si è concepito un metodo che potesse essere applicato con una procedura facilmente riconoscibile e valida per la Liguria-Costa Azzurra. Tale metodo ha pertanto validità anche per quello che riguarda il bacino del torrente Roja, che presenta la particolarità di essere un bacino internazionale, suddiviso tra Francia e Italia. Le ipotesi su cui si fonda detto studio sono di seguito elencate:

1. analisi di frequenza con approccio regionale: l'approccio di tipo regionale consente di utilizzare contemporaneamente tutta l'informazione pluviometrica disponibile sul territorio. Esso è senz'altro da preferire ad un approccio a sito singolo, in quanto le valutazioni statistiche che ne risultano superano le problematiche legate alla disomogeneità spaziale dovuta alla differente lunghezza delle serie storiche osservate ai diversi siti di misura. Inoltre, la limitata estensione del campione osservato a sito singolo fa sì che l'incertezza associata alle stime sia inaccettabile, specialmente per gli eventi rari. L'uso di tutta l'informazione disponibile sul territorio consente invece di ridurre tale incertezza al massimo livello possibile;
2. utilizzo dei valori massimi annuali di precipitazione per le brevi durate: la Liguria è caratterizzata da un'orografia complessa, drenata sui versanti tirrenico e padano da bacini idrografici di modeste dimensioni che, fatto salvo il caso del fiume Magra, non superano mai 500 km² e solo raramente 100 km². Una tale situazione morfologica fa sì che i tempi di risposta dei bacini ad eventi estremi siano contenuti in poche ore e comunque non superino le 24 ore. Sono quindi stati analizzati i massimi annuali per le durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore pubblicati sugli annali idrologici del Servizio Idrografico e Mareografico Italiano (SIMI), parte I, ed i dati delle stazioni pluviografiche francesi della Costa Azzurra.

Determinato quindi quali fossero il metodo ed i dati da utilizzare per l'analisi, si sono identificati i diversi passi necessari per giungere alla caratterizzazione statistica delle piogge. La procedura di analisi statistica regionale prevede i seguenti passi:

3. scelta della distribuzione di probabilità genitrice: per poter eseguire un'analisi statistica occorre prima di tutto identificare la distribuzione di probabilità più adatta a descrivere statisticamente le osservazioni. Nell'approccio di tipo regionale tale distribuzione è assunta unica, nella sua forma adimensionale, nella porzione di territorio ritenuta statisticamente omogenea. Essa deve quindi essere in grado di descrivere il comportamento d'insieme dei dati, in termini di variabilità nello spazio dei momenti di ordine superiore osservati. Inoltre, essa deve prestarsi ad una stima dei parametri su base regionale attraverso una procedura ben definita in letteratura. La distribuzione del valore estremo a due componenti (TCEV) presenta tutti questi vantaggi, come ben documentato in una serie di lavori scientifici pubblicati su riviste internazionali;
4. identificazione delle regioni omogenee: una volta scelta la forma della distribuzione di probabilità genitrice occorre identificare le porzioni di territorio su cui quest'ultima può essere assunta unica nella sua forma adimensionale. Le tecniche usualmente suggerite in letteratura utilizzano criteri di tipo matematico o empirico, che generalmente non hanno alcuna giustificazione dal punto di vista fisico o, al più molto debole. È quindi stata applicata una tecnica innovativa che consentisse la determinazione delle regioni omogenee sulla base di considerazioni relative alla fisica delle tempeste mediterranee e sull'evidenza sperimentale fornita da sensori remoti;
5. stima dei parametri della curva di crescita che deriva dalla distribuzione di probabilità genitrice prescelta: attraverso le tecniche suggerite in letteratura per la distribuzione prescelta si passa poi alla stima dei parametri all'interno delle regioni omogenee, che definiscono la curva di crescita, ed alla verifica dell'omogeneità;
6. caratterizzazione della pioggia indice: la curva di crescita viene assunta unica all'interno di una regione omogenea nella sua forma adimensionale. Per consentire la particolarizzazione della distribuzione in un sito generico occorre procedere alla caratterizzazione spaziale del parametro di dimensionalizzazione denominato pioggia indice. In analogia alla tecnica di identificazione delle zone omogenee, è stata utilizzata una tecnica innovativa, recentemente proposta per la pubblicazione su rivista internazionale, che mette in relazione la pioggia indice con fattori climatici e morfologici della regione in esame;
7. definizione delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica (CPP): l'ultimo passo da compiere per la completa caratterizzazione delle precipitazioni in un sito generico del territorio analizzato è la definizione delle CPP. Esse consentono, per assegnato periodo di ritorno, di disegnare un evento di precipitazione di progetto, il quale può essere utilizzato per la generazione delle portate al colmo di piena, con opportuna tecnica di trasformazione afflussi-deflussi.

3.2. Portate al colmo di piena

La determinazione delle portate al colmo di piena per i periodi di ritorno $T=50, 200$ e 500 anni si è resa necessaria in quanto, a differenza degli altri bacini liguri, il bacino del Roja non era compreso, per il suo carattere di internazionalità, nello studio per la caratterizzazione delle precipitazioni intense e delle portate di piena per i bacini liguri condotto dal CIMA per conto della Regione Liguria. Il presente studio rappresenta quindi un'integrazione delle valutazioni effettuate a suo tempo per gli altri bacini liguri; è importante sottolineare che i risultati ottenuti

si basano sulla stessa metodologia. Per la determinazione delle portate al colmo di piena è stato utilizzato il modello afflussi-deflussi DRiFt (Discharge River Forecast) che è stato sviluppato nell'ambito dell'analisi della risposta idrologica a scala di bacino, incentrata principalmente sulla simulazione e previsione di idrogrammi di piena. Questo modello è stato realizzato dal CIMA per soddisfare alle esigenze di alcuni ambienti naturali, quali quello dell'arco alpino-appenninico, caratterizzati da strutture drenanti di dimensioni spaziali ridotte, la cui parte montana risulta preponderante, nei processi di formazione della piena, rispetto a quella con caratteristiche spiccatamente vallive. La struttura del modello si può considerare costituita da tre moduli distinti:

1. individuazione della rete di drenaggio;
2. determinazione dei tempi di corrivazione;
3. calcolo dell'idrogramma di piena attraverso la convoluzione degli idrogrammi unitari istantanei.

Il primo modulo identifica le diverse componenti che costituiscono la rete di drenaggio, effettuando una distinzione tra versante e canale. Questo modulo utilizza come dato di ingresso le informazioni derivanti dai modelli digitali di elevazione del territorio sotto forma di dati di quota (DEM), area drenata e un sistema di puntatori per l'individuazione del percorso di drenaggio. Il risultato di questo modulo è la classificazione di ogni cella appartenente al bacino in cella-versante o cella-canale e la determinazione della distanza parziale da una cella a quella successiva secondo la direzione indicata dal puntatore. La Figura 3.1 rappresenta i reticoli di drenaggio della regione Liguria come risultano individuati nel modello a partire dalle informazioni digitali di elevazione del territorio.

Figura 3.1: Individuazione dei reticoli idrografici della regione Liguria

Il secondo modulo utilizza come ingresso i risultati del primo e, attribuendo nella cella-canale una velocità di scorrimento del deflusso superficiale stimata pari a 2.5 m/s e nella cella-versante una velocità stimata pari a 0.16 m/s, determina per ogni cella il relativo tempo di corrivazione, individuando così l'idrogramma istantaneo unitario del bacino idrografico.

Il terzo modulo accetta come ingresso le piogge e i tempi di corrivazione determinati dal secondo modulo e, sfruttando le proprietà dei sistemi lineari, effettua la convoluzione degli idrogrammi istantanei unitari. La pioggia lorda viene trasformata in pioggia efficace attraverso la metodologia proposta dal Soil Conservation Service. Per realizzare quest'operazione è necessario servirsi di una carta dell'uso del suolo. Nel caso oggetto di studio si è utilizzata la carta del CN realizzata a partire dalla carta Corine. La carta Corine, contrariamente ad altre mappature, è disponibile per l'intero bacino idrografico del Roja; sebbene non descriva l'uso secondo un elevato grado di dettaglio, è stata giudicata sufficiente per gli scopi che si volevano perseguire. L'uscita di questo terzo modulo, e quindi l'uscita di tutto il modello, è l'idrogramma di piena nella prefissata sezione di chiusura.

I risultati ottenuti dall'applicazione al torrente Roja della procedura sopra brevemente ricordata, sono di seguito riportati in termini di idrogramma di piena alla foce del torrente per portate al colmo associabili a tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni.

Le portate al colmo di piena sono di seguito riportate, per maggiore chiarezza e semplicità, in forma tabellare:

T (anni)	Q (m ³ /s)
----------	-----------------------

50	1150
100	1400
200	1700
500	2000

Figura 3.2: Idrogrammi di piena alla sezione di chiusura del torrente Roja

3.3. Profili idrici in alveo

Per il calcolo del profilo di rigurgito della corrente si è assunta valida l'ipotesi di moto permanente monodimensionale gradatamente variato. Nell'ambito dello studio realizzato è stato utilizzato il pacchetto applicativo Hec-Ras, realizzato dall'U.S. Army Corps of Engineering, nella versione 2.2 per Personal Computer prodotta dall'Haestad Methods di Waterbury, USA.

Il punto di partenza per l'utilizzo del pacchetto software è l'inserimento dei dati topografici all'interno dello stesso. Questo è stato possibile mediante l'utilizzo dei risultati di apposita campagna di misura, che ha permesso di rilevare numerose sezioni significative del torrente Roja, (tali dati sono quelli utilizzati per la redazione del Piano di Bacino da parte della provincia di Imperia)). Dopo aver rappresentato la geometria dell'alveo, utilizzando i rilievi delle sezioni, si è proceduto alla simulazione idraulica per le portate precedentemente determinate, come prescritto dalla normativa vigente. In Figura 3.3 sono riportati i risultati di tale simulazione.

Figura 3.3: Profili di rigurgito per $Q(T=50)$, $Q(T=200)$, $Q(T=500)$

3.4. Esondazione della portata senza più recapito certo in alveo

Osservando i profili di rigurgito così ottenuti si evince che, nelle attuali condizioni, l'alveo del torrente Roja non è in grado di smaltire completamente neppure la portata associata al tempo di ritorno di 50 anni, causando quindi fenomeni di esondazione, che devono essere oggetto di studio specifico. Per il tempo di ritorno di 50 anni si ha esondazione solo in sponda destra, a valle del ponte della ferrovia. Considerando invece la portata associata ad un tempo di ritorno pari a 200 anni, oltre ad avere ovviamente esondazione nel tratto precedentemente individuato, si individuano tratti critici immediatamente a monte del ponte ferroviario, sia in sponda destra che sinistra. Per la portata cinquecentennale si individuano gli stessi tratti di esondazione individuati con la portata duecentennale, anche se la quota del pelo libero risulta più elevata.

Per calcolare la portata esondante si assume che la situazione conseguente all'instaurarsi di un tirante idrico superiore alla quota arginale, che pertanto dà luogo al fenomeno di esondazione, possa essere modellata secondo lo schema dello sfioratore e quindi come

$$Q = C_Q L \sqrt{2g} (Y - d)^{3/2}$$

con

Y	profondità nel tratto di corso d'acqua in esame;
d	quota arginale;
$Y-d$	battente che si instaura sull'argine;
C_Q	coefficiente di portata, assunto pari a 0.39;

L lunghezza dello sfioratore.

Alla precedente equazione è stato applicato un filtro: se $Y-d > 35$ cm si assume sempre $Y-d = 35$ cm. Quest'assunzione nasce dal fatto che la simulazione idraulica è stata realizzata assumendo argini infiniti; la grandezza $Y-d$ può pertanto assumere valori anche molto grandi, irrealizzabili dal punto di vista fisico. L'aver adottato questo filtro fa sì che l'influenza delle quote del pelo libero delle due diverse simulazioni idrodinamica sia significativa solo per $Y-d < 35$ cm.

Attraverso lo schema concettuale degli sfioratori, il calcolo dei valori di portata esondanti risulta relativamente semplice: gli idrogrammi precedentemente determinati sono discretizzati secondo prefissati step temporali; in corrispondenza di ognuno di questi step, attraverso una corsa del modello idraulico, si determina un tirante idraulico al quale viene applicata l'equazione dello sfioratore, stimando in questo modo l'idrogramma delle portate uscenti. I valori di portata esondante devono essere usati come input al modello di propagazione della piena in ambiente urbano, illustrato nel successivo paragrafo.

3.5. Propagazione della piena in ambiente urbano

3.5.1. Modello concettuale e matematico

Per poter studiare l'impatto di un'inondazione su un territorio urbanizzato è necessario utilizzare un modello idraulico che sia in grado di descrivere l'evoluzione temporale della piena. In particolare è necessario determinare in funzione del tempo i valori di tirante idrico e di velocità di scorrimento che si realizzano nelle aree interessate dall'inondazione. Per questo scopo è stato applicato un apposito modello di propagazione della piena in ambiente urbano sviluppato presso il CIMA (*Crosta e Laverneda, 2000*). Tale modello rappresenta il territorio su cui si propaga l'inondazione come un reticolo idraulico equivalente (*Braschi et al., 1990, 1992*) secondo una schematizzazione simile a quella riportata in Figura 3.4.

Figura 3.4: Schematizzazione del territorio secondo il modello di propagazione

Sono individuate due classi di elementi: nodi e rami; i primi hanno funzione di immagazzinare l'acqua mentre i secondi servono per il trasporto della stessa all'interno della rete. La capacità di invaso locale del campo è concentrata nei singoli nodi attraverso la loro area di competenza. Quest'ultima è data dall'area geometrica di influenza del nodo (determinata con il metodo dei topoi) pesata secondo un coefficiente minore o uguale ad uno, che tiene conto del volume d'acqua immagazzinabile nell'area geometrica a seconda della densità di fabbricazione. Di conseguenza, i nodi con un'area geometrica comprendente un'alta densità di fabbricazione hanno un'area di competenza relativa minore rispetto a quella di nodi in aperta campagna o con area geometrica interessata da poche costruzioni.

Questo modello può essere considerato fisicamente basato nel senso che si fonda sulle equazioni di continuità e del moto, anche se sono state semplificate nell'ottica di una descrizione globale del fenomeno di inondazione. Assunti come positivi i deflussi nei rami che concorrono al nodo, si può scrivere l'equazione di continuità nel generico nodo i -esimo:

$$A_i \frac{dh_i}{dt} = \sum_k Q_{ik} + Q_{ei} \quad (1)$$

dove A_i è l'area di competenza del nodo i -esimo, h_i il carico piezometrico nel nodo i -esimo, Q_{ik} la portata scambiata col k -esimo ramo concorrente al nodo, Q_{ei} la portata scambiata con elementi esterni alla rete. L'integrazione dell'equazione del moto e dell'equazione di continuità nel canale, sotto l'ipotesi che siano trascurabili le discontinuità idrauliche e per un canale rettangolare di lunghezza L , fornisce le seguenti equazioni:

$$H_m = H_v + \bar{J}L + \frac{L}{g} \frac{d\bar{U}}{dt} \quad (2)$$

$$Q_m = Q_v + BL \frac{d\bar{Y}}{dt} \quad (3)$$

dove con H_m e H_v sono indicati i carichi e con Q_m e Q_v le portate nei nodi di monte e di valle, mentre il simbolo soprasssegnato rappresenta i valori medi delle perdite di carico J , della velocità U e del tirante Y . Nell'ipotesi che il canale sia una semplice struttura di trasferimento del flusso idrico, e cioè sia caratterizzato da un unico valore di portata, e sotto l'ipotesi per cui sia trascurabile il moto nel nodo, si ottiene che:

$$Q = Q(h_m, h_v) \quad (4)$$

Questo significa che la portata che attraversa il canale è funzione soltanto dei livelli idrici dei suoi nodi di estremità. In virtù di questa considerazione l'equazione di continuità ai nodi, supponendo che siano N , è la seguente:

$$A_i \frac{dh_i}{dt} - \sum_k Q_{ik}(h_i, h_k) - Q_{ei} = 0 \quad k=1, \dots, N_i \quad (5)$$

dove la somma algebrica è estesa a tutti i rami che collegano gli N_i nodi circostanti al nodo i -esimo. Il sistema è completato dalle appropriate condizioni iniziali e al contorno. Le condizioni iniziali sono costituite dagli N valori nodali dei tiranti d'acqua. Tutti questi valori iniziali possono anche essere ovunque nulli. Le condizioni al contorno possono essere imposte su entrambe le variabili: portate e/o livelli idrici. Il valore della portata Q_{ei} è assegnabile in ogni nodo in funzione del tempo; diversamente si possono imporre i livelli dei nodi di monte e le scale di deflusso nei nodi di valle, che simulano l'uscita dell'inondazione dal campo di interesse.

Ritenendo trascurabile l'inerzia locale e la dinamica del moto, cioè non considerando nell'espressione dei carichi totali il carico cinetico, la legge di trasferimento della portata tra i nodi può essere espressa come una funzione esplicita della differenza di carico tra il nodo di monte e il nodo di valle:

$$Q_{ik}(h_m, h_v) = \chi \cdot \Omega \cdot \sqrt{\left(\frac{h_m - h_v}{L_{ik}}\right)} \cdot R^{(4/3)} \quad (6)$$

dove con R si indica il raggio idraulico del canale dato dal rapporto tra la sezione ed il perimetro bagnato. Di conseguenza, il sistema di equazioni differenziali (5), in virtù della forma della (6), è un sistema equazioni in forma esplicita, essendo le uniche incognite costituite dal valore del carico piezometrico in ogni nodo ad ogni step temporale, poiché il suo valore nel generico nodo è unico, cioè:

$$h_m^i = h_v^i \quad (7)$$

Il problema, pertanto, dal punto di vista matematico risulta ben posto. Dal punto di vista numerico, la soluzione delle (5) viene cercata attraverso un procedimento esplicito, una volta discretizzate le stesse in forma numerica. Il valore del carico piezometrico nel nodo i al tempo j è dato dal bilancio delle portate in tale nodo nello step temporale precedente $j-1$:

$$h_i^j = h_i^{j-1} + \frac{\Delta t}{A_i} \left(\sum_k Q_{ik} + Q_{ei} \right) \quad k=1, \dots, N_i \quad (8)$$

dove i termini che compaiono hanno il significato già visto. Chiaramente, i valori di portata Q_{ik} hanno segno positivo se sono entranti nel nodo, negativo se uscenti dal nodo. I valori delle portate Q_{ei} rappresentano nel modello le portate di esondazione; come tali, avranno segno positivo e interesseranno solo quei nodi perimetrali all'alveo che la modellazione idraulica del problema ha reputato essere quelli da cui ha origine l'esondazione. Per tutti gli altri nodi il valore della portata Q_{ei} scambiata con elementi esterni alla rete è nullo. Le portate cedute o ricevute dal nodo i -esimo nello step temporale $j-1$ sono calcolate tramite l'equazione (8), in cui i termini h_m e h_v sono tutti valutati al tempo $j-1$. In altre parole, assumendo lo step temporale di integrazione sufficientemente piccolo (ad esempio, pari a 1 secondo) è lecito assumere, con buona approssimazione, all'interno di esso la costanza dei carichi piezometrici nei nodi, permettendo così attraverso l'utilizzo prima della (6) e poi della (8) di conoscere ad ogni istante la profondità che si instaura in ogni nodo.

Il modello così descritto deve pertanto compiere operazioni semplici, ma dispendiose in termini di risorse computazionali, ulteriormente aggravate dalla necessità di utilizzare un passo di integrazione molto piccolo, tale da rendere lecite le approssimazioni sopra descritte. Tenendo conto di queste necessità il modello è stato realizzato in linguaggio FORTRAN, essendo questo il più adatto a svolgere gli algoritmi del caso. Il modello utilizza come input due file di ingresso:

- file topografico, contenente tutte le informazioni relative all'area su cui si vuole effettuare la simulazione, quali le coordinate e le aree di competenza dei nodi nonché la possibilità di comunicazione tra gli stessi;
- file delle portate uscenti dall'alveo, contenente l'andamento del valore di portata che si riversa nei nodi di esondazione, in coincidenza delle sezioni critiche.

Una volta introdotti questi dati iniziali, il programma calcola le distanze tra i nodi comunicanti e valuta per ogni step temporale le differenze di carico (riconoscendo di volta in volta chi è "monte" e chi è "valle") e le portate scambiate tra di essi. Proceda poi alla risoluzione dell'equazione di continuità di ogni nodo ed alla valutazione dei tiranti idrici. E' quindi possibile utilizzare il programma per studiare diverse zone semplicemente cambiando in maniera appropriata i due file sopra descritti.

3.5.2. Topografia del territorio

Per poter applicare il modello e costruire la rete di nodi e canali, non essendo possibile rilevare direttamente la topografia dell'area di Ventimiglia, si è utilizzata la CTR in scala 1:5000, avvalendosi, per alcune aree, anche di una cartografia in scala 1:2000 messa a disposizione dal Comune di Ventimiglia. L'area potenzialmente interessata da inondazione è stata schematizzata con un reticolo di 138 nodi scelti nei punti più significativi dal punto di vista idraulico, presentati in Figura 3.5.

Figura 3.5: Rete topografica scelta per lo studio della propagazione della piena

La scelta del posizionamento dei nodi ha richiesto grande attenzione soprattutto perché la zona presenta una morfologia decisamente varia e in alcuni casi complessa. Dove possibile, i nodi sono stati posizionati in punti per i quali la cartografia riportava la quota sul livello del mare. Dove questo non è stato possibile, perché la cartografia presentava un numero di punti noti insufficiente, si sono seguite due strade: se la zona presentava un andamento altimetrico regolare si è interpolato tra le quote di due punti noti, se erano presenti elementi di discontinuità si è misurata l'elevazione o la depressione rispetto a punti noti. In tal modo si è cercato creare una maglia che fosse in grado di interpretare il più fedelmente possibile quella zona che poteva presumibilmente essere interessata alla propagazione della piena.

Passo successivo alla determinazione della maglia di nodi consiste nell'attribuire a ciascuno di essi la propria area di competenza, com'è stato accennato durante la descrizione del modello. Si sono determinate le aree di influenza geometriche relative ad ogni nodo utilizzando un procedimento simile al metodo di Thiessen (o dei topoi) utilizzato in idrologia per la determinazione delle aree di competenza dei pluviometri. In realtà questo procedimento non è stato utilizzato in modo automatico ed in alcuni casi si sono attribuite aree diverse da quello che esso avrebbe fornito: si sono cioè assegnate aree più limitate a quei nodi la cui quota non era rappresentativa di un'area vasta, ma era espressione di un particolare elemento presente in cartografia.

Una volta determinate le aree di competenza geometriche, si è determinato, per ogni nodo, il coefficiente di porosità urbana, con il quale è risultato possibile passare dalle aree geometriche già calcolate alle aree di competenza vere e proprie, utilizzate come dati nella successiva simulazione. A tale proposito si è redatta una tabella che assegna un coefficiente di porosità urbana ad ogni tipologia territoriale. L'utilizzo di questo coefficiente è di importanza notevole perché rende plausibili le aree di competenza di ogni singolo nodo, in quanto tiene conto della presenza di edifici o di altri volumi in cui chiaramente l'acqua non ha possibilità ad andare.

<i>Coefficiente di porosità urbana</i>	<i>Tipologia territoriale</i>
<i>1</i>	<i>Zone completamente agricole</i>
<i>0.9</i>	<i>Zone prevalentemente agricole</i>
<i>0.8</i>	<i>Zone a bassa urbanizzazione</i>
<i>0.7</i>	<i>Zone a media urbanizzazione</i>
<i>0.6</i>	<i>Zone ad alta urbanizzazione</i>
<i>0.5</i>	<i>Aree comprendenti il rilevato ferroviario</i>

Tabella 3.1: Coefficienti di porosità urbana per le differenti tipologie territoriali

Una volta determinato il valore del coefficiente di porosità relativo ad ogni nodo, è stato possibile passare dalle aree di competenza geometriche alle aree di competenza effettive attraverso una semplice operazione di moltiplicazione:

$$A_C = c_{PU} \times A_G$$

dove A_C è l'area di competenza del nodo, c_{PU} il coefficiente di porosità urbana e A_G l'area di competenza geometrica del nodo.

La rete di nodi e le aree di competenza di ognuno possono, a questo punto, essere utilizzati come dati del modello.

3.5.3. Applicazione al Roja in Ventimiglia

La simulazione con il modello descritto è stata realizzata per eventi caratterizzati da tempo di ritorno pari a 50, 200 e 500 anni. Si riporta di seguito, per ciascun valore del tempo di ritorno, la carta dei tiranti massimi realizzati sul territorio.

Figura 3.6: Carta dei tiranti massimi che si realizzano per la portata cinquantennale

Figura 3.7: Carta dei tiranti massimi che si realizzano per la portata duecentennale

Figura 3.8: Carta dei tiranti massimi che si realizzano per la portata cinquecentennale

Le aree delimitate nelle mappe dei tiranti massimi sopra riportate forniscono i dati di partenza per la determinazione della carta di inondabilità. Esse forniscono delle indicazioni indispensabili, che devono essere però opportunamente interpretate al fine di determinare il limite reale della zona a rischio. Il modello non tiene infatti conto, per semplicità computazionale, dell'eventuale presenza di alti muri o di edifici ingombranti che da soli formano il limite per la propagazione delle acque, mentre la presenza di questi deve essere ben evidenziata nella mappatura delle aree inondabili. Inoltre, prima di tracciare tali aree è necessario dare una definizione più precisa di cosa si intenda con il concetto di "area inondabile". In particolare è necessario fissare un valore minimo del tirante che deve instaurarsi affinché la zona in questione possa essere così definita. Poiché nell'ambito della normativa attualmente vigente non viene mai definito tale valore, si è deciso nel caso in questione di assumere come soglia minima un valore di tirante pari a 5 centimetri. Tale valore deriva da considerazioni relative alla percezione delle inondazioni da parte delle popolazioni. Tiranti di pochi centimetri possono essere infatti percepiti come normale deflusso superficiale o ristagno in piccole depressioni del terreno (pozzanghere). Tiranti dell'ordine della decina di cm vengono percepiti senza dubbio come un fenomeno di inondazione.

Utilizzando questi criteri si è quindi giunti ad una definizione più accurata della carta di inondabilità in cui ad ogni area è associata una probabilità di accadimento dell'inondazione inversamente proporzionale al tempo di ritorno cui queste aree sono associate. I risultati ottenuti sono riportati in Figura 3.9 e sono da interpretarsi come segue:

- **Fascia T = 50 anni: colore rosso;**
- **Fascia T = 200 anni: colore giallo;**
- **Fascia T = 500 anni: colore verde.**

Alcune considerazioni generali in merito ai risultati che possono essere ottenuti seguendo questa metodologia sono a questo punto necessarie. Da un lato le metodologie innovative impiegate rendono i risultati ottenuti di grande rilievo, dall'altro occorre puntualizzare che la loro affidabilità è legata alla affidabilità dei dati di partenza, a cominciare dai dati necessari per le valutazioni idrologiche, fino ad arrivare alla rappresentazione plano-altimetrica dell'area soggetta ad inondazione, che deve essere basata su rilievi topografici realizzati con sufficiente cura, con particolare attenzione alla distribuzione dei punti battuti sul territorio, la quale deve consentire di interpretare il più realisticamente possibile, dal punto di vista idraulico, la realtà fisica del territorio.

La mole di dati necessaria – rilievi delle sezioni idriche estese alle zone periferiali, dei profili d'alveo e delle zone periferiali soggette a rischio – e il loro livello di precisione incidono significativamente sull'impegno necessario e rendono l'applicazione del metodo presentato onerosa, realizzabile in quelle aree del territorio regionale nelle quali possa garantire risultati soddisfacenti anche a valle di analisi costi benefici.

Figura 3.9: Carta delle aree inondabili

3.5.4. Evoluzione dello scenario

Nel precedente paragrafo si sono illustrate le carte relative ai massimi tiranti che si realizzano in Ventimiglia in corrispondenza di eventi aventi tempi di ritorno pari a 50, 200 e 500 anni. Queste carte sono, come visto, necessarie per realizzare le carte delle aree inondabili ma non forniscono nessuna indicazione sull'evoluzione della piena, non danno informazioni circa i tratti del torrente che per primi entrano in crisi e di conseguenza non danno informazioni neppure su quelle aree che vengono da subito inondate. In realtà il problema connesso alla propagazione di una piena in ambiente urbano, a seguito dell'esonazione di un corso d'acqua, merita una descrizione accurata in quanto è di grande rilievo ai fini di Protezione Civile. Un Piano di Protezione Civile può contenere utili informazioni se redatto tenendo conto della dinamica di propagazione.

Il modello di propagazione permette di individuare con sufficiente precisione quali sono le zone che, per prime, sono soggette ad allagamento, e permette di descrivere come l'onda di piena si propaghi fino a mare e quali siano le zone nelle quali l'acqua permane per lungo tempo. Nei successivi paragrafi si procederà pertanto alla descrizione di questo fenomeno sempre in riferimento ai tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni per i quali sono state realizzate le carte di inondabilità. E' comunque impresa ardua descrivere nel dettaglio quello che succede durante un'inondazione poiché la modellazione di un simile fenomeno presenta notevoli difficoltà di varia natura. Innanzi tutto è pressoché impossibile modellare elementi (come i mezzi di trasporto) che con la loro presenza possono, anche significativamente, modificare l'evoluzione della piena e della cui possibile presenza non si può dire nulla a priori. E' di grande difficoltà anche la descrizione delle caratteristiche topografiche del luogo ed elementi come gli edifici vengono tenuti in conto attraverso la realizzazione di opportuni collegamenti della rete topografica e attraverso la scelta di un opportuno coefficiente di porosità urbana. Pur con tali limitazioni, la dinamica di seguito presentata può essere considerata come una buona descrizione, sempre considerando gli obiettivi per i quali è stata realizzata, che sono quelli di gestione del rischio idraulico.

3.5.5. Propagazione della piena per T=50 anni

Come si può osservare in Figura 3.10 l'esonazione del torrente Roja, in occasione di un evento con tempo di ritorno pari a 50 anni, inizia in sponda destra immediatamente a valle del ponte della ferrovia. La prima area che si inonda è quella attualmente adibita a campeggio. Il valore di portata per il quale ha inizio l'esonazione è pari a circa $950 \text{ m}^3/\text{s}$.

Figura 3.10: Fase iniziale dell'esonazione cinquantennale

Una volta innescato il meccanismo di esonazione, questa continua a diventare più significativa fino al raggiungimento del picco dell'idrogramma che è pari a circa $1150 \text{ m}^3/\text{s}$. La propagazione inizia a interessare nuove aree verso mare mentre il tratto del torrente che Roja non sufficiente a consentire lo smaltimento della piena continua ad essere sempre collocato immediatamente a valle del ponte della ferrovia. In particolare, sono interessate dalla propagazione dell'esonazione le aree perfluviali in sponda destra. La direzione principale della propagazione è verso mare, la piena non si espande infatti lateralmente a causa della presenza della parte storica di Ventimiglia notevolmente sopraelevata rispetto all'alveo del torrente. Nell'area interessata dall'inondazione si realizzano tiranti idraulici particolarmente elevati così come dimostra la Figura 3.11. La figura mostra inoltre l'area massima che viene interessata dall'esonazione cinquantennale poco dopo il picco dell'idrogramma.

Figura 3.11: Fase di massima espansione dell'inondazione cinquantennale

Alla fine dell'inondazione esistono alcune aree che continuano ad essere allagate anche con tiranti significativi. Queste zone corrispondono effettivamente alle zone più depresse del territorio (come nel caso del campeggio) nelle quali l'acqua si accumula senza poter completamente defluire. E' qui opportuno osservare che il modello utilizzato non tiene in conto della rete fognaria, che può a sua volta realizzare lo smaltimento della piena.

In conclusione, come già percepito osservando le fasce di inondabilità, la piena cinquantennale coinvolge una parte limitata di Ventimiglia e l'esonazione è concentrata in sponda destra.

3.5.6. Propagazione della piena per T=200 anni

La piena duecentennale, almeno nella sua fase iniziale, ha un'evoluzione molto simile a quella della cinquantennale. Infatti, anche in questo caso l'esonazione è localizzata immediatamente a valle del ponte della ferrovia. Tuttavia, in questo secondo scenario, i tiranti che si realizzano sono più alti che nel caso precedente e, in corrispondenza di una portata pari a circa $1600 \text{ m}^3/\text{s}$, si individuano due nuovi punti di esonazione. Il primo di essi si trova a monte del ponte della ferrovia in sponda destra e dà luogo ad un'esonazione che coinvolge i campi sportivi di Ventimiglia; il secondo punto di esonazione è leggermente a monte del ponte ferroviario ma è collocato in sponda sinistra, dove ha quindi luogo una nuova esonazione visibile nella successiva Figura 3.12. Questi tratti del torrente Roja non sono più sufficienti a garantire il deflusso della portata duecentennale, ed in corrispondenza di una portata di circa $1600 \text{ m}^3/\text{s}$ ha luogo l'esonazione.

Figura 3.12: Fase iniziale dell'esonazione duecentennale

Figura 3.13: Fase di massima espansione dell'inondazione duecentennale

Lo scenario duecentennale coinvolge un'area più estesa rispetto al precedente; in particolare, vengono coinvolte ampie aree in sponda sinistra. Infatti è soggetta ad inondazione la strada Statale di Val Roja e del Col di Tenda ed alcune aree della zona commerciale di Ventimiglia come Via Cavour e Piazzale della Libertà. L'area di massima espansione dell'evento è riportata in Figura 3.13.

3.5.7. Propagazione della piena per T=500 anni

L'evoluzione della piena cinquecentennale è simile a quella delle due precedenti anche se i tiranti sono, in questo caso, sensibilmente più alti. La piena cinquecentennale va ad interessare gran parte della zona di Ventimiglia bassa. La fase di massima espansione dell'inondazione associata al tempo di ritorno di 500 anni è riportata in Figura 3.14.

Figura 3.14: Fase di massima espansione dell'inondazione cinquecentennale

La piena cinquecentennale porta ad avere tiranti superiori ai 70 cm in gran parte delle aree inondabili. L'attendibilità dell'inondazione associata ad un tempo di ritorno di 500 anni ha una validità limitata in quanto la valutazione del colmo di piena è soggetta a rilevanti incertezze; sono comunque blande le implicazioni vincolistiche sulle aree soggette a tale livello di pericolosità.

3.6. Carta di pericolosità idraulica

Le informazioni necessarie per realizzare uno studio approfondito e dettagliato sulla pericolosità sono relative alla conoscenza dei tiranti idraulici e delle velocità di scorrimento che si realizzano nelle aree inondabili. Attraverso un'opportuna combinazione di questi due elementi è possibile pervenire ad una buona rappresentazione. La determinazione dei tiranti e delle velocità è stata possibile attraverso l'uso del modello precedentemente descritto; le carte dei tiranti massimi associati ai tre tempi di ritorno considerati (50, 200 e 500 anni) sono state presentate nei precedenti paragrafi. Si riportano di seguito quelle delle velocità massime.

Come si può osservare dalle carte, le velocità massime si realizzano, per tutti i tempi di ritorno considerati, in aree ben precise. Innanzi tutto si realizzano, già per la portata cinquantennale, velocità piuttosto elevate in sponda destra. Per quello che riguarda la sponda sinistra è possibile individuare, per le portate duecentennali e cinquecentennali, una sorta di percorso seguito dall'acqua nel dirigersi verso mare che presenta una velocità di scorrimento più elevata.

Figura 3.15: Carta delle velocità massime per T=50 anni

Figura 3.16: Carta delle velocità massime per T=200 anni

Figura 3.17: Carta delle velocità massime per T=500 anni

Le normative vigenti prevedono una procedura di individuazione delle aree inondabili che considera solo la massima estensione areale dell'inondazione che si realizza in corrispondenza di un evento con tempo di ritorno fissato. La carta che individua le aree inondabili con assegnato tempo di ritorno, presentata nei paragrafi precedenti, rappresenta quindi anche la carta della pericolosità. E' opportuno ricordare che le stesse normative regionali (DRG 357/2001 e

successive modificazioni) prevedevano già la possibilità di studi di maggior dettaglio che determinassero aree a minore pericolosità in funzione di tiranti e velocità.

Al fine di superare tali limitazioni, che potrebbero essere di rilievo in alcune aree, si propone nel seguito una nuova metodologia avente l'obiettivo di stimare la pericolosità di un'area considerando, oltre al tempo di ritorno dell'evento, anche il tirante idraulico e la velocità di scorrimento. Partendo dai risultati che si ottengono dal modello di propagazione della piena in ambiente urbano, si può infatti realizzare una carta di pericolosità per ogni tempo di ritorno, in cui ad ogni area si associa un livello di pericolosità secondo classi (alto, medio, basso). Queste carte potranno essere affiancate alle "tradizionali" fasce di inondabilità nelle quali l'unico fattore discriminante, come detto, è il tempo di ritorno dell'evento.

Come precedentemente illustrato, il modello fornisce il tirante idraulico che si realizza in ogni nodo e la velocità di scorrimento tra due nodi durante l'evoluzione della piena, inoltre esso fornisce il tirante massimo e la velocità massima che si realizzano durante l'evento considerato. Per realizzare la nuova mappa di pericolosità si è scelto di considerare sempre i tiranti e le velocità massimi; questa ipotesi nasce dalla necessità di ragionare sempre a favore di sicurezza anche se non è detto che, per un dato punto, tirante massimo e velocità massima si realizzino contemporaneamente.

Una possibile metodologia che mette in relazione tirante e velocità è di seguito riportata. Nel piano tirante – velocità vengono costruite delle ellissi che individuano zone a diversa pericolosità, la scelta di questa forma geometrica sembra essere adatta a realizzare questa differenziazione. A seconda della combinazione tirante velocità che si realizza in ciascuna zona del territorio si individuano le seguenti aree di pericolosità:

- *Area con pericolosità **alta***
- *Area con pericolosità **media***
- *Area con pericolosità **bassa***

Figura 3.18: Suddivisione in livelli di pericolosità alta, media e bassa

Secondo il grafico ora presentato ad ogni nodo della rete viene associato un valore di pericolosità cosicché è possibile individuare tutte quelle aree che sono soggette ad uno stesso livello di pericolosità. I valori numerici scelti come separatori per le zone soggette a diversi gradi di pericolosità sembrano poter interpretare abbastanza bene le inondazioni che hanno luogo in Liguria e sembrano poter avere validità anche nel caso del Dipartimento Alpes Maritimes – Cote d'Azur, che presenta caratteristiche abbastanza simili a quelle della nostra Regione. Si riportano di seguito le carte di pericolosità che sono state realizzate per il torrente Roja secondo la metodologia precedentemente esposta.

Figura 3.19: Carta di pericolosità per $T=50$ anni

Figura 3.20: Carta di pericolosità per $T=200$ anni

Figura 3.21: Carta di pericolosità per $T=500$ anni

Prima di commentare le tre carte riportate è necessario precisare come il modello fornisca risultati puntuali la cui informazione nel passaggio alla campitura areale viene perduta. Infatti in

alcuni casi, nell'ottica di uno studio a grande scala e per garantire omogeneità alla carta, il valore puntuale ottenuto nel nodo è stato trascurato. Osservando le tre carte sopra riportate per i tre tempi di ritorno si possono fare le seguenti osservazioni:

- Per la carta T=50 anni è presente solo il livello di pericolosità massimo in tutta l'area soggetta ad inondazione;
- Per la carta T=200 anni sono presenti i livelli di pericolosità alto e medio, sebbene quest'ultimo riguardi una superficie minore;
- Per la carta T=500 anni compare anche il livello di pericolosità basso, ma soltanto in aree periferiche.

Sulla base di queste osservazioni, e di una lettura ragionata delle carte, si possono effettivamente fare, sul concetto di pericolosità, delle valutazioni più approfondite di quanto sia possibile se si è solo in possesso delle fasce di inondabilità. Tuttavia, per poter comprendere l'effettivo impatto che un evento alluvionale può avere sul territorio, anche questo approccio può essere approfondito, ottenendo uno studio più di dettaglio nel quale anche i risultati puntuali del modello vengano opportunamente considerati. Un'analisi sistemica della vulnerabilità richiede però una conoscenza più specifica della realtà territoriale in questione. Occorre quindi studiare nel dettaglio quelli che sono gli elementi - entità - che durante un'inondazione possono essere vulnerati e in che modo gli effetti dell'evento sul singolo elemento influenzano la realtà territoriale circostante. Di questo approfondimento saranno oggetto i successivi capitoli.

4. Vulnerabilità e Funzionalità

4.1. Concetto di vulnerabilità

Il rischio idraulico a cui può risultare soggetto un certo territorio emerge dalle complesse dinamiche che si instaurano tra gli elementi fisici e antropici che insistono su di esso. La valutazione della vulnerabilità ad un dato rischio presuppone una visione interdisciplinare ampia capace di sintetizzare e riunire in modo coerente una compagine di discipline diverse e un insieme di criteri differenti, talvolta divergenti. In letteratura si definisce la vulnerabilità come il grado di perdita derivante dal verificarsi di un evento calamitoso su un certo elemento o gruppo di elementi ad esso esposti. Una sua stima risulta di norma un processo complesso che deve tener conto di numerosi fattori tra cui la tipologia dell'evento, le intensità ad esso correlate, la connotazione fisica degli elementi in studio e l'esistenza di eventuali piani di emergenza. Per superare l'ostacolo di stima, in campo tecnico si assume spesso un valore massimo di vulnerabilità, ponendola cioè pari all'unità in una scala tra 0 e 1: questo tipo di scelta è spesso dettato dalla necessità di costruire piani in tempi brevi atti a fronteggiare la situazione di grave dissesto in cui sempre più si trova il territorio.

In questa sede si è invece cercato di approfondire lo studio di questo parametro, la cui valutazione nell'ambito di un caso specifico risulta più semplice, al fine di pervenire ad una più completa ed esaustiva descrizione dell'impatto portato da un evento calamitoso su di un territorio antropizzato. A questo fine è risultato necessario passare da una descrizione a 'fasce' del territorio ad una puntuale per ogni singolo elemento vulnerabile, da qui in avanti denominato 'entità'. Questo perché il livello di dettaglio richiesto da uno studio approfondito del fenomeno è molto maggiore e non può limitarsi a classificare aree antropizzate assunte omogenee con indicatori qualitativi, come è stato fatto nel capitolo precedente, ma necessita di una più precisa descrizione del singolo elemento presente.

4.2. Identificazione delle entità

Nelle aree soggette ad inondazione cinquantennali e duecentennali si è proceduto all'individuazione delle entità, ovvero degli elementi fisici presenti sul territorio che assumono, all'interno dello stesso grande importanza. Sono state individuate le seguenti entità puntuali e le seguenti infrastrutture principali: Caserma di Finanza, Ufficio Comunale, Campeggio, Area mercato, Municipio, Caserma VVFF, Mercato, Caserma Polizia, Campo sportivo, Strada statale n°20, Lungo Roja, Via Roma, Via Vittorio Veneto, Via Trossarelli, Ponte doppio e Passerella pedonale.

La loro individuazione è stata realizzata in collaborazione con il gruppo urbanistica ed è stata condotta considerando l'importanza che queste entità svolgono all'interno del tessuto urbano di Ventimiglia. In Figura 4.1 e Figura 4.2 si riporta la collocazione delle entità individuate.

Figura 4.1: Collocazione delle entità puntuali individuate

Figura 4.2: Collocazione delle principali infrastrutture viarie individuate

Sono state elaborate delle schede riassuntive per ciascuna entità in cui si riporta una loro identificazione cartografica e una loro identificazione fotografica, oltre ad una breve descrizione delle caratteristiche più interessanti dal punto di vista di un'eventuale inondazione.

4.3. Stima della funzionalità residua

Un approccio originale al fine di stimare la funzionalità residua di un'entità è realizzato mediante la definizione di un vettore di stato fisico y_i , costruito per misurare l'integrità fisica degli elementi in esame, e di una funzione di vulnerabilità ad esso associata. Più precisamente, si è cercato di definire il vettore di stato fisico

$$y_i = f_{ki}(\zeta_{ki})$$

con ζ_{ki} vettore che tiene conto delle sollecitazioni idrauliche e f_{ki} funzione di vulnerabilità che lega gli aspetti idraulici e quelli tipici dell'esposto, cioè che tiene conto della vulnerabilità dell'esposto stesso. Tale metodologia è ampiamente spiegata nella relazione del gruppo CIMA-Modellistica, alla quale si rimanda per ulteriori approfondimenti. La funzione di vulnerabilità agisce a partire dalle sollecitazioni ζ_{ki} tenendo presente la vulnerabilità dell'entità in questione e restituisce non tanto un valore del vettore y_i quanto un valore F che può essere considerato rappresentativo della funzionalità residua dell'entità in questione. Le sollecitazioni ζ_{ki} che agiscono sulle entità sono state definite per mezzo di due parametri ritenuti significativi: i massimi tiranti e le velocità massime che si instaurano nei nodi della rete del modello idraulico riferiti alle zone su cui insistono le entità in studio. Questa scelta è motivata dalla propensione a lavorare in sicurezza: in generale potrebbero non verificarsi contemporaneamente i valori massimi sia di tirante che velocità. E' da notare come la scelta di mantenere separate queste due grandezze idrauliche, invece di utilizzarne un'unica comprensiva di entrambe, quale ad esempio la spinta idraulica, deriva dalla necessità di poter quantificare l'incidenza della sollecitazione sull'entità in modo semplice. E' parso infatti più utile trattare due grandezze il cui effetto potesse essere facilmente immaginabile e descrivibile piuttosto che un unico parametro meno a portata del senso comune.

Dopo un'analisi di molteplici strategie possibili, la metodologia che pare più opportuno applicare al fine di determinare la funzionalità residua F di un'entità deve necessariamente essere specifica per l'entità considerata, ovvero non è possibile costruire un funzione di vulnerabilità che abbia validità generale per tutte le entità in questione. Ad avvalorare questa scelta si rileva che le entità strategiche prescelte costituiscono un insieme disomogeneo sia per funzioni prevalenti che per tipologia costruttiva e attributi fisici in genere: pertanto, in tale contesto, la definizione di una funzione empirica di carattere generale pare realmente poco significativa. L'incidenza delle diverse caratteristiche architettoniche e strutturali, nonché dell'uso a cui sono adibiti i vari locali di una struttura, risulta infatti essere troppo rilevante anche per una divisione in classi di entità per le quali si possa definire una funzione univoca in grado di quantificare la perdita di funzionalità dati i valori delle sollecitazioni. Basti infatti pensare a come possa variare l'incidenza di un'inondazione su di una struttura ospedaliera in base all'uso cui sono adibiti i vani al piano terreno ed eventualmente a quello interrato.

Figura 4.3: Determinazione della funzionalità residua a partire da tirante, velocità e vulnerabilità

In conclusione la determinazione della funzionalità residua avviene tenendo conto delle grandezze fisiche fornite dal modello (tiranti e velocità) e della vulnerabilità della struttura (individuata dalle sue caratteristiche significative).

La stima della perdita di funzionalità e la definizione della funzionalità residua (F) conseguente sono quindi determinate invocando il buon senso progettuale e rifacendosi ad una scala di riferimento comune costruita come in tabella. La tabella proposta serve proprio per fornire criteri per determinare la funzionalità residua in modo oggettivo. Per utilizzare in modo corretto la tabella si devono considerare gli effetti che un'inondazione (tiranti e velocità) ha nei confronti di un'entità (divise in classi edificio, area, strada). Un volta considerato lo scenario che verrebbe a crearsi la tabella "guida" all'attribuzione della funzionalità residua secondo criteri standardizzati.

SCALA DI DEFINIZIONE DEI VALORI DI FUNZIONALITÀ RESIDUA (F)	
0 - 0.1	Totale annullamento della funzionalità dell'entità
	edificio Si intende il crollo strutturale dello stesso
	area Si intende la distruzione degli elementi fisici lì presenti
	strada Si intende un suo danneggiamento strutturale o la presenza di elementi che ne rendano impossibile la percorrenza
0.1- 0.3	Entità completamente inagibile
	edificio Si intende l'impossibilità di accedere alla struttura anche per i mezzi di soccorso, cosicché sia impossibilitata ogni eventuale attività al suo interno
	area Si intende che l'area non possa essere in alcun modo raggiunta, o attraversata, neanche da mezzi di soccorso e che l'entità non possa svolgere la propria funzione anche a causa di pesanti danni fisici
	strada Si intende che la strada non può essere percorsa in alcun modo e svolgere così la sua funzione di collegamento; le attività circostanti sono completamente compromesse
0.3-0.5	Struttura agibile solo con mezzi di soccorso
	edificio Si intende che l'edificio non possa in alcun modo essere raggiunto da civili, ma solo da mezzi di soccorso, e che le attività al suo interno debbano essere sospese
	area Si intende che l'area, completamente inagibile ai civili, possa subire danni anche consistenti e un'assoluta impossibilità a svolgere le sue funzioni

	strada	Si intende che la strada sia percorribile solo da mezzi di soccorso e non da mezzi civili. Si intende inoltre che le attività che insistono su di essa siano impossibilitate ad esercitare la loro funzione e subiscono notevoli danni
0.5-0.7	Struttura accessibile anche da pedoni con particolari cautele	
	edificio	Si intende che l'edificio sia accessibile dai mezzi di soccorso e dai civili solo con particolari cautele e che le funzioni presenti nei piani seminterrati e al piano terra non possano essere svolte
	area	Si intende che le funzioni proprie che la riguardano non abbiano luogo e che le strutture possano subire lievi danni fisici
	strada	Si intende che la strada sia percorribile con mezzi di soccorso, ma difficilmente con mezzi civili. Le attività circostanti sono sicuramente compromesse
0.7-0.9	Struttura con minimi allagamenti	
	edificio	Si intende che l'edificio sia accessibile e svolga in gran parte le proprie funzioni quanto meno per i piani a livello stradale o superiori, mentre per i seminterrati possono manifestarsi situazioni più critiche
	area	Si intende che l'area sia accessibile e non subisca danni fisici. Le attività che vi si svolgono potrebbero non essere svolte
	strada	Si intende che la strada svolga la sua funzione di collegamento, e sia percorribile con ogni tipo di mezzo. Le attività circostanti potrebbero non essere svolte
0.9-1	Struttura integra	
	edificio	Si intende che l'edificio o sia in zona non soggetta ad inondazione o sia interessato in maniera trascurabile, e che possa pertanto esercitare la sua funzione
	area	Si intende che l'area o sia in zona non soggetta ad inondazione o sia interessata in maniera trascurabile in modo tale che le attività che vi vengono esercitate possano avere luogo
	strada	Si intende che la strada si trovi o in zona non soggetta ad inondazione o sia interessata in maniera trascurabile cosicché possa svolgere la sua funzione di collegamento e che le attività che vi insistono possano avere luogo regolarmente

Tabella 4.1: Scala di definizione della funzionalità residua

Seguendo la metodologia proposta sono stati quindi definiti i valori di funzionalità residua, per ognuna delle entità individuate, al verificarsi di tre differenti scenari di inondazione ritenuti interessanti per lo scopo e cioè quelli con tempo di ritorno associato pari a 50, 100 e 200 anni. Questo è stato possibile mediante un'analisi dei valori di livelli idrici e di velocità nei vari nodi di comunicazione restituiti dal modello idraulico, unita alla conoscenza del luogo e degli esposti vulnerabili interessati. I risultati così ottenuti sono riportati nella seguente tabella riassuntiva:

funzionalità residua <i>F</i> per le entità strategiche individuate																
MATRICE DI IDENTIFICAZIONE																
		T= 50				T= 100				T= 200						
		Y		V		F	Y		V		F	Y		V		F
ID	Entità	nodi	(m)	canale	(m/s)		nodi	(m)	canale	(m/s)		nodi	(m)	canale	(m/s)	
1	Caserma finanza					1	76	>2	76/79	>2	0.2	76	>2	76/79	>2	0.2
							79	1.9				79	1.9			
2	Ufficio comunale	58	>2	58/65	0.7	0.3	58	>2	65/58	1	0.2	58	>2	65/58	0.8	0.2
		65	2				65	>2				65	>2			

DOSSIER TEMATICO
RISCHIO DI INONDAZIONE

3	<i>Campeggio</i>	51	>2	51/53	0.3	0	51	>2	53/51	0.4	0	51	>2	53/51	0.3	0
		60	>2	51/48	0.5		60	0	51/48	1.4		60	>2	51/48	0.6	
		53	1.6	53/48	0.2		53	2	53/48	0.8		53	2	53/48	0.5	
		48	1.7				48	2				48	2			
4	<i>Area mercato</i>					1					1	84	1	84/86	1.6	0.2
							86	1	86/89	1		86	1	86/89	1	
							89	0.8	89/90	0		89	0.8	89/90	0	
							90	0	90/95	0		90	0	90/95	0	
							95	0.1	96/95	0.4		95	0.1	96/95	0.4	
5	<i>Municipio</i>					1					1	91	0.9	91/94	1.3	0.8
							94	0.8	94/97	1.6		94	0.8	94/97	1.6	
							97	0.4				97	0.4			
6	<i>Caserma VVFF</i>					1					1	84	1	84/86	1.6	0.7
							86	1	86/91	1.3		86	1	86/91	1.3	
							91	0.9	91/94	1.3		91	0.9	91/94	1.3	
							94	0.8				94	0.8			
7	<i>Mercato</i>					1					1	84	1	84/86	1.6	0.5
							86	1	86/91	1.3		86	1	86/91	1.3	
							91	0.9	91/94	1.3		91	0.9	91/94	1.3	
							94	0.8				94	0.8			
8	<i>Caserma Polizia</i>					1					1	82	1.2	82/80	1.5	0.5
							80	0.8	80/83	>2		80	0.8	80/83	>2	
							83	0.2	83/84	3		83	0.2	83/84	3	
							84	1				84	1			
9	<i>Campo sportivo</i>					1					1	44	1.7	44/39	0.4	0.5
							46	1.5	45/44	0.7		46	1.5	45/44	0.7	
							39	1.5	46/44	0.4		39	1.5	46/44	0.4	
							45	1.8	45/46	0.3		45	1.8	45/46	0.3	
							50	>2	45/39	0.5		50	>2	45/39	0.5	
							38	1.5	38/45	0.3		38	1.5	38/45	0.3	
							49	>2	50/45	0.8		49	>2	50/45	0.8	
									38/39	0.5				38/39	0.5	
									50/38	0.3				50/38	0.3	
									49/38	0.3				49/38	0.3	
						50/49	1.5			50/49	1.5					
10	<i>Strada statale n 20</i>					1					1	70	0.9	72/70	0.3	0.5
							72	1.5	72/77	1		72	1.5	72/77	1	
							77	0.8	77/82	1.5		77	0.8	77/82	1.5	
							82	1.2	82/80	1.5		82	1.2	82/80	1.5	
11	<i>Lungo Roja Rossi</i>					1					1	80	0.8	84/86	1.6	0.5
							83	0.2	86/89	1		83	0.2	86/89	1	
							84	1	80/83	>2		84	1	80/83	>2	
							86	1	83/84	>2		86	1	83/84	>2	
							89	0.8				89	0.8			
							90	0				90	0			
12	<i>Via Roma</i>					1					1	83	0.2	91/94	1.3	0.6
							94	0.8	94/97	1.6		94	0.8	94/97	1.6	
							97	0.3	97/100	1.9		97	0.3	97/100	1.9	
							100	0.5				100	0.5			
13						1					1	86	1	96/95	0.4	0.6
							96	0.1	97/96	1.4		96	0.1	97/96	1.4	

	Via Vittorio Veneto							99	1.2	96/99	>2	
										100/99	1.8	
14	Via Trossarelli	1	66	>2	69/66	>2	0.2	66	>2	69/66	>2	0.2
			69	>2	69/71	1	69	>2	69/71	1		
			71	2	71/73	>2	71	2	71/73	>2		
			73	0.5	73/76	>2	73	0.5	73/76	>2		
			76	>2	76/79	>2	76	>2	76/79	>2		
			79	2	79/81	>2	79	2	79/81	>2		
			81	1.1			81	1.2				
15	Ponte doppio	0.8	73	0.1	73/76	>2	0.6	73	0.5	73/76	>2	0.5
								82	1.2	82/77	1.5	
16	Passerella pedonale	0.3	81	0.9	81/79	>2	0.3	81	1.2	79/81	>2	0.2
								89	0.8			

Tabella 4.2: Risultati numerici funzionalità residua

5. Perdita di funzionalità indotta

5.1. Approccio concettuale

Lo studio della vulnerabilità del territorio non può arrestarsi all'analisi delle conseguenze di un'inondazione sulle singole entità individuate, ma deve prevedere anche l'analisi delle possibili conseguenze che la perdita di funzionalità dell'entità i -esima induce sulle entità j -esime che da essa sono, in qualche modo, influenzate. Questa analisi è essenziale in quanto una qualsiasi realtà territoriale costituisce un sistema complesso, fra i cui elementi si possono identificare connessioni funzionali talvolta molto forti. La funzionalità e l'efficienza del sistema territoriale sono, quindi, strettamente dipendenti dalle singole funzionalità di tutti gli elementi. E' pertanto evidente la necessità di un approccio sistematico allo studio del sistema territoriale e delle relazioni intercorrenti fra i suoi diversi elementi.

A questo scopo si è proposta una procedura, realizzata dal gruppo CIMA-modellistica, basata sulla schematizzazione del territorio come grafo orientato. Nel grafo orientato i nodi sono costituiti dalle entità che rivestono una significativa importanza per motivi intrinseci o funzionali; tali entità sono state introdotte e presentate, per quello che concerne le aree inondabili del Roja, nel capitolo 4.2. Gli archi dei grafi individuati sul territorio indicano la presenza di una interazione fra due differenti entità. Poiché il grafo è orientato i singoli archi forniscono indicazioni non solo relative alla presenza di tale correlazione, ma anche relative ai ruoli assunti da ciascuno dei nodi in tale relazione. Si considera quindi un grafo orientato $G(X,L)$, dove X è l'insieme dei nodi i e L è l'insieme degli archi diretti (i,j) ; la presenza dell'arco (i,j) indica infatti che il nodo i influenza il nodo j , cioè che una condizione per la corretta funzionalità dell'entità rappresentata dal nodo j è rappresentata dalla corretta funzionalità dell'entità rappresentata dal nodo i .

Nei precedenti paragrafi è stato definito il vettore di sollecitazione $\check{\zeta}_{ki}$ che, attraverso l'azione della funzione di vulnerabilità, agisce sulle entità restituendo la loro funzionalità residua F . In realtà, come precedentemente detto, un'entità non può essere analizzata individualmente ma bisogna considerare anche le influenze delle entità ad essa correlate: per esempio un ospedale può non essere in grado di funzionare, pur essendo fisicamente integro, a causa dell'assenza di approvvigionamento idrico. E' necessario a questo punto definire, per ogni singolo nodo i del

grafo considerato, un ulteriore vettore x_i , denominato vettore di funzionalità (esso può coincidere semplicemente con uno scalare). Si può supporre che il vettore x_i , che esprime il livello di funzionalità dell'entità i , sia dipendente, oltre che dai livelli intrinseci di integrità fisica, anche dai livelli di funzionalità delle entità che condizionano l'entità i . Si è definito allora, dato il grafo di influenza precedentemente descritto, come CS_i (conditioning set) l'insieme delle entità la cui funzionalità condiziona la funzionalità dell'entità i .

Un modello generale per esprimere la dipendenza della funzionalità x_i dalle funzionalità delle entità appartenenti all'insieme CS_i può essere rappresentato dalla seguente equazione:

$$\underline{x}_i = \varphi_i(\underline{y}_i, \underline{x}_j, \forall j \in CS_i) \quad (1)$$

La definizione della funzione vettoriale φ_i presente nella (1) richiede un'attenta analisi delle relazioni fra le diverse entità ed un'accurata quantificazione delle influenze reciproche. In questo contesto è valida l'ipotesi che un'entità sia pienamente funzionale solo se tutte le entità condizionanti sono pienamente funzionali e se l'entità in gioco ha una piena integrità fisica. Si può pensare di tradurre il legame di influenza tra le varie entità attraverso una funzione di minimo che tenga conto del fatto che alcune entità possono essere coinvolte solo in condizionamenti secondari, mentre altri condizionamenti sono di tipo più essenziale:

$$x_i = \min(w_{i0}(y_i), w_{ij}(x_j), \forall j \in CS_i) \quad (2)$$

dove la funzione $w_{ij}(x_j)$ esprime il livello di dipendenza della funzionalità dell'entità i dalla funzionalità dell'entità j , mentre la funzione $w_{i0}(y_i)$ esprime il livello di dipendenza di i dalla propria integrità fisica y_i . In caso di forte dipendenza la funzionalità dell'entità i subisce brusche diminuzioni già per piccole variazioni della funzionalità dell'entità j , mentre in caso di debole dipendenza, solo a notevoli diminuzioni della funzionalità dell'entità j corrispondono rilevabili decrementi nella funzionalità dell'entità i . La scelta delle funzioni $w_{lm}(\cdot)$ è un passaggio di fondamentale importanza nel processo di analisi della vulnerabilità sistemica.

5.2. Applicazione al caso del rischio idraulico

I legami funzionali tra le entità sono rappresentati tramite funzioni matematiche, che mettono in relazione l'integrità funzionale dell'entità condizionante con quella dell'entità condizionata. Si riporta di seguito la formulazione analitica della famiglia di curve utilizzata per il rischio idraulico

$$w_{ij}(x_i) = (1 - 0,1 * \alpha) * \frac{(1 - e^{-\alpha x_i^2})}{(1 - e^{-\alpha})} + 0,1 * \alpha \quad (1)$$

dove α è un parametro che può essere fatto variare per ottenere la curva desiderata. In Figura 5.1 sono riportati gli andamenti delle (1) per alcuni valori particolari di α .

Figura 5.1: Andamenti delle funzioni (1) per alcuni valori del parametro α

Si può notare che tutte le curve in Figura 5.1 presentano caratteristiche comuni: sono tutte monotone non decrescenti, in quanto è logico immaginare che, all'aumentare della funzionalità dell'entità condizionante, la funzionalità dell'entità condizionata non decresca. Ogni curva, inoltre, presenta un valore di funzionalità dell'entità condizionata residua: se i è l'entità condizionante e j quella condizionata, si immagina che una totale disfunzione di i non implichi una totale disfunzione di j . Si può constatare, osservando la Figura 5.1 che, all'aumentare del parametro α , le curve descrivono un legame funzionale sempre più debole. All'aumentare del parametro α aumenta anche il valore di funzionalità che l'entità condizionata mantiene nel caso di completa disfunzione dell'entità condizionante.

Per la scelta dei particolari valori del parametro α da utilizzare per la valutazione di vulnerabilità sistemica nel caso di sollecitazione idraulica, si è deciso di fare riferimento alla scala di integrità residua illustrata in Tabella 4.1. Si ricorda brevemente che tale scala di integrità individua 6 intervalli di integrità residua:

1. Totale annullamento della funzionalità dell'entità
2. Entità completamente inagibile
3. Struttura agibile solo con mezzi di soccorso
4. Struttura accessibile anche da pedoni con particolari cautele
5. Struttura con minimi allagamenti
6. Struttura integra

I valori di α sono stati scelti in modo che, in caso di completa disfunzione dell'entità condizionante, l'entità condizionata avesse un livello di integrità funzionale ricadente nel sesto intervallo nel caso di influenza trascurabile (livello 1), nel quinto intervallo nel caso di influenza di livello 2 e così via sino ad arrivare al livello 6. I valori del parametro α utilizzati per questa applicazione sono riportati in Tabella 5.1.

Livello di influenza	Intervallo della scala di integrità residua corrispondente	Valore di α
1	Struttura integra	10
2	Struttura con minimi allagamenti	8
3	Struttura accessibile anche da pedoni con particolari cautele	7
4	Struttura agibile solo con mezzi di soccorso	5
5	Entità completamente inagibile	2
6	Totale annullamento della funzionalità dell'entità	1

Tabella 5.1: Valori del parametro α utilizzati nella procedura per esprimere i diversi livelli di influenza.

I risultati che si sono ottenuti al capitolo 4.3 descrivono il livello di integrità funzionale residua, considerando solo in maniera implicita il livello di integrità fisica. La valutazione del livello di decadimento funzionale indotto sul sistema territoriale è stato effettuato tramite l'utilizzo di un apposito pacchetto software realizzato dal gruppo CIMA-modellistica.

E' opportuno ricordare che lo studio della vulnerabilità sistemica condotto all'interno del progetto Ge.Ri.A. è relativo ad una scala più ampia rispetto a quella di pertinenza del rischio idraulico, andando ad interessare tutta la Val Roja, pertanto nell'applicazione a questo rischio non si sono potute tenere in considerazione tutte le sollecitazioni precedentemente calcolate. Le informazioni relative ad alcuni collegamenti stradali, per esempio, sono state aggregate: alcune vie appartenenti al nucleo urbano centrale di Ventimiglia sono state considerate come un unico collegamento tra la zona del lungo Roja dove è situato il ponte doppio e la zona est della città.

Come già accennato in precedenza, il sistema territoriale viene rappresentato concettualmente attraverso un grafo di influenza, in cui i nodi rappresentano le entità, mentre gli archi (orientati) rappresentano le influenze funzionali tra i diversi elementi territoriali. Nel caso specifico della Val Roja tale grafo è stato ottenuto sfruttando le informazioni elaborate dal gruppo DEUIM, relative alle dipendenze funzionali tra le entità ritenute di una certa importanza. In particolare, sulla matrice di influenza è stata effettuata un'operazione preliminare, tramite la quale sono stati eliminati i cosiddetti *cicli* (ossia le situazioni in cui A influenza B, B influenza C e C, a sua volta, influenza A). In Figura 6.2 a sinistra è riportato un esempio di ciclo, mentre a destra è descritta la situazione che si può osservare dopo l'eliminazione del ciclo.

Figura 5.2: Esempio di un grafo di influenza in cui è presente un ciclo (A-D-B-A); grafo che si ottiene dopo aver eliminato dal ciclo A-D-B-A il legame più debole

Il grafo che è stato ottenuto per la Val Roja non è rappresentabile graficamente, in quanto sono state considerate un centinaio di entità e le relazioni tra loro intercorrenti. In alternativa, il grafo di influenza può essere rappresentato tramite la corrispondente matrice di adiacenza $[A]$, il cui generico elemento A_{ij} è >0 (con valore uguale al livello di influenza funzionale) se esiste un collegamento (orientato) dall'entità i all'entità j ed è uguale a 0 in caso contrario. In Tabella 5.2 è riportata una sezione della matrice di adiacenza $[A]$; tale matrice non viene riportata interamente in quanto, contenendo circa 10^4 elementi, risulta di difficile lettura.

Tabella 5.2: Piccola porzione della matrice di adiacenza $[A]$; si può notare che l'entità 10 influenza in maniera lieve (livello 2) l'entità 1, mentre influenza in maniera medio-alta le entità 8 e 9; a sua volta, l'entità 1 è influenzata in modo lieve dalle entità 9 e 10 ed in modo medio dall'entità 2

Nella Tabella 5.2 sono riportati i risultati ottenuti per i tre tempi di ritorno considerati, ossia 50, 100 e 200 anni. Per ciascuno di tali tempi di ritorno sono riportati due differenti livelli di integrità funzionale, di cui uno viene indicato come " x_i principale", mentre l'altro viene indicato come " x_i secondario". Il valore del livello di integrità " x_i principale" è stato elaborato utilizzando la procedura brevemente descritta nella presente relazione ed utilizzando come dati di ingresso quelli di funzionalità residua delle entità determinati nel paragrafo 4.3 e quelli di livello di influenza tra le entità; in questo caso si può osservare che non vengono tenute in considerazione tutte le influenze tra le diverse entità, ma solo quelle che non vengono trascurate nella procedura di eliminazione dei cicli. Proprio le influenze trascurate dalla procedura di eliminazione dei cicli, invece, sono un dato fondamentale per l'elaborazione del livello di integrità funzionale " x_i secondario". Per tale elaborazione, infatti, si utilizzano i valori di " x_i principale" come se si trattasse di valori di funzionalità residua e si vanno a valutare, sempre utilizzando la procedura descritta, i decrementi di funzionalità che vengono indotti sul sistema territoriale proprio a causa delle influenze che erano state precedentemente trascurate. I valori di " x_i secondario" sono stati calcolati per controllare che l'approssimazione fatta eliminando i cicli

dalla matrice di influenza non fosse troppo forte e non influenzasse troppo i risultati dell'analisi. I risultati di tale analisi non si discostano significativamente da quelli ottenuti dalla prima applicazione della procedura, convalidando quindi la scelta di considerare solo le influenze più alte, che sono le uniche in grado di abbassare significativamente il livello di funzionalità delle entità. Si sono ottenuti risultati in forma tabellare sia per le entità puntuali che per quelle lineari che infine per quelle areali. Si riporta a titolo di esempio la tabella dei risultati relativa alle entità di tipo lineare.

Tabella 5.3: Valori di livello di integrità funzionale ottenuti per i tempi di ritorno di 50, 100 e 200 anni per le entità di tipo lineare. Il valore x_i principale è stato ottenuto considerando solo le influenze più forti tra le diverse entità, mentre il valore di x_i secondario è stato ottenuto considerando anche le entità più deboli

6. Conclusioni

Il lavoro sviluppato nell'ambito del progetto Ge.Ri.A., descritto sinteticamente nella presente monografia, offre interessanti spunti per le conseguenti applicazioni sia nel settore della pianificazione del territorio sia in quello della protezione civile. La stima del rischio a livello di ambito territoriale ha richiesto il superamento delle consuete determinazioni indifferenziate, condotte per ambiti omogenei soggetti ad un identico grado di pericolosità, fissato convenzionalmente come dipendente dal solo tempo di ritorno dell'evento d'inondazione. Si è così giunti a proporre una gradazione della pericolosità che tenga conto anche delle caratteristiche salienti della sollecitazione, espresse attraverso i valori di profondità e velocità della corrente idrica. La valutazione della vulnerabilità del territorio ha poi richiesto l'identificazione delle "entità" esposte, della possibile perdita di funzionalità a seguito dell'evento e delle loro interconnessioni fisiche e funzionali, fino a giungere alla descrizione, almeno di massima, del complesso delle interazioni fra i diversi elementi, esposti direttamente od indirettamente, e della dinamica del sistema complessivo. L'eventuale adozione dei modelli concettuali proposti dovrà necessariamente essere preceduta da una fase sperimentale, nella quale calibrare e validare sia le procedure descritte, attraverso la loro applicazione a diversi casi di studio, sia gli aspetti normativi collegati.

BIBLIOGRAFIA

Boni G., Laverneda S., Roth G., Taramasso A.C., U-Flood "Urban Flood" modello di propagazione delle piene in ambiente urbano. Convegno di idraulica e costruzioni idraulica, Potenza , 2002 .

Braschi G., Gallati M., Natale L., La simulazione delle inondazioni in ambiente urbano, CNR - GNDCI, 1990.

Braschi G., Gallati M., Natale L, Flood risk forecast in urban areas by numerical simulation: the case of Florence. Atti 1 simposio Italo-Brasiliano ingegneria sanitaria ambientale, Rio de Janeiro, Aprile 1992.

Centro Interuniversitario di ricerca in Monitoraggio Ambientale CIMA - Caratterizzazione delle precipitazioni intense e delle portate di piena per i bacini liguri, 1999.

Crosta A., Laverneda S., Valutazione e mitigazione del rischio idraulico in ambiente urbano: il caso del Rio Molinero, Università degli Studi di Genova, Dicembre 2000.

Progetto AVI (Aree Vulnerate Italiane) commissionato dal Ministro per il Coordinamento della Protezione Civile al Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), 1991-1994.

Regione Liguria, Deliberazione della giunta regionale n. 2615 del 28 Dicembre 1998.

Regione Liguria, DRG 357/2001 e successive modificazioni.

Regione Liguria - Dipartimento Ambiente e Territorio - Servizio assetto idrogeologico e Piani di Bacino, "Misure di salvaguardia ex art. 6 L.R. 45/96 per le aree soggette ad inondazione sul territorio regionale".

US ARMY Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, - HEC-RAS Software: Hydraulic Reference Manual, 1995.