

ADRIANO MURACHELLI VITTORIA RIBONI

# RISCHIO IDRAULICO E DIFESA DEL TERRITORIO

A. MURACHELLI - V. RIBONI

RISCHIO IDRAULICO E DIFESA DEL TERRITORIO

ISBN 978-88-579-0025-4

Prima edizione: marzo 2010

© 2010 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686 - fax 091525738

[www.darioflaccovio.it](http://www.darioflaccovio.it) [info@darioflaccovio.it](mailto:info@darioflaccovio.it)

Murachelli, Adriano <1976->

Rischio idraulico e difesa del territorio / Adriano Murachelli, Vittoria Riboni. -

Palermo : D. Flaccovio, 2010

ISBN 978-88-579-0025-4

1. Alluvioni - Prevenzione.

I. Riboni, Vittoria <1973->.

627.4 CDD-21

SBN Pal0223217

CIP - Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.

La fotocopiatura dei libri è un reato.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.



### SERVIZI GRATUITI ON LINE

Questo libro dispone dei seguenti servizi gratuiti disponibili on line:

- files di aggiornamento al testo
- possibilità di inserire il proprio commento al libro
- fogli di calcolo in .xls scaricabili gratuitamente da questo link  
<http://www.darioflaccovio.it/scheda/?codice=DF0025>

L'indirizzo per accedere ai servizi è: [www.darioflaccovio.it/scheda/?codice=DF0025](http://www.darioflaccovio.it/scheda/?codice=DF0025)

**INDICE**

<i>Presentazione</i> .....	pag. 9
<i>L'AIAT</i> .....	» 10
<i>Premessa</i> .....	» 11

PARTE PRIMA  
TEORIA DI CALCOLO

**1. PRINCIPI E FINALITÀ DELL'IDRAULICA FLUVIALE**

1.1. Generalità .....	» 15
1.2. Vulnerabilità idraulica del territorio .....	» 16
1.2.1. Interazione tra corsi d'acqua, infrastrutture e insediamenti antropici .....	» 16
1.2.2. Rischio idraulico .....	» 18
1.2.2.1. Pericolosità .....	» 20
1.2.2.2. Esposizione .....	» 22
1.2.2.3. Vulnerabilità .....	» 22
1.2.3. Classificazione e pianificazione territoriale: individuazione delle aree a rischio .....	» 23
1.2.3.1. Autorità di bacino del fiume Adige .....	» 23
1.2.3.2. Autorità di bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione (Alto Adriatico) .....	» 25
1.2.3.3. Autorità di bacino del fiume Arno .....	» 26
1.2.3.4. Autorità di bacino dei fiumi Liri-Garigliano e Volturno .....	» 30
1.2.3.5. Autorità di bacino del fiume Po .....	» 34
1.2.3.6. Autorità di bacino del fiume Serchio .....	» 36
1.2.3.7. Autorità di bacino del fiume Tevere .....	» 37
1.2.3.8. Recenti sviluppi della pianificazione di bacino: i distretti idrografici ..	» 41
1.2.4. Sistemi di previsione e di allerta in tempo reale .....	» 42
1.2.5. Interventi di protezione civile .....	» 44
1.3. Salvaguardia e recupero degli ambienti fluviali .....	» 49
1.3.1. Mobilità fluviale: analisi e previsione dell'evoluzione morfologica .....	» 49
1.3.2. Continuità dei corsi d'acqua e deflusso minimo vitale .....	» 50
1.3.2.1. Standard della Regione Piemonte .....	» 51
1.3.2.2. Stime per i corsi d'acqua della Regione Lombardia .....	» 52
1.3.2.3. Deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di bacino del fiume Po n. 7/2002 .....	» 53
1.3.3. Fasce riparali, zone umide e ambienti ecotonali .....	» 54
1.3.3.1. Relazione tra il fiume e il territorio circostante .....	» 56
1.3.3.2. Necessità di un ambiente diversificato .....	» 57
1.3.3.3. Corridoi ecologici .....	» 58
1.4. Bibliografia .....	» 58

**2. LE ANALISI IDROLOGICHE A SCALA DI BACINO**

2.1. Generalità .....	» 61
2.2. Caratterizzazione dei bacini idrografici .....	» 62
2.2.1. Rappresentazione geometrica e morfologica .....	» 62
2.2.2. Gerarchizzazione del reticolo secondo Horton-Strahler .....	» 64
2.2.3. Verifica delle leggi di Horton .....	» 66
2.3. Elaborazione dei dati pluviometrici .....	» 68
2.4. Bilancio idrologico e bilancio idrico .....	» 73
2.5. Calcolo delle portate di massima piena .....	» 80
2.5.1. Metodi empirici .....	» 81
2.5.2. Metodi diretti: indagini statistiche sui dati sperimentali .....	» 85
2.5.3. Metodi indiretti: metodi di regionalizzazione .....	» 88
2.5.3.1. Il modello di regionalizzazione VAPI .....	» 88
2.5.3.2. Il modello di regionalizzazione MG .....	» 90
2.5.4. Metodi indiretti: modelli di trasformazione afflussi-deflussi .....	» 94
2.5.4.1. Curve di possibilità climatica .....	» 94
2.5.4.2. Individuazione dello ietogramma netto .....	» 99
2.5.4.3. Idrogramma unitario istantaneo (IUH) .....	» 103
2.5.4.4. Metodo dell'invaso .....	» 107
2.5.4.5. Modello di Nash .....	» 108
2.5.4.6. Modello della corrivazione .....	» 111
2.5.4.7. Modello di Snyder .....	» 114

2.5.4.8. Modello scs.....	»	116
2.5.4.9. Modello di Clark.....	»	118
2.5.5. Durata critica .....	»	118
2.5.6. Scelta del metodo di calcolo e determinazione dell'idrogramma di piena .....	»	119
2.6. Bibliografia .....	»	120
<b>3. LA PROPAGAZIONE DELLE ONDE DI PIENA</b>		
3.1. Grandezze caratteristiche delle sezioni fluviali .....	»	123
3.1.1. Calcolo dei parametri di scabrezza .....	»	125
3.1.2. Curve caratteristiche .....	»	128
3.1.2.1. Curva di durata delle portate .....	»	128
3.1.2.2. Scala delle portate .....	»	130
3.2. Profili di pelo libero .....	»	131
3.2.1. Caratteristiche energetiche della corrente .....	»	131
3.2.2. Moto vario. Equazioni di De Saint Venant .....	»	136
3.2.3. Moto permanente .....	»	139
3.2.3.1. Direct method.....	»	140
3.2.3.2. Standard step method .....	»	141
3.2.4. Moto uniforme .....	»	141
3.3. Fenomeni localizzati .....	»	142
3.3.1. Risalto idraulico .....	»	142
3.3.2. Problemi idraulici dei ponti .....	»	143
3.3.3. Erosione al piede delle pile dei ponti .....	»	154
3.3.4. Problemi idraulici dei tombini .....	»	158
3.3.5. Briglie .....	»	162
3.4. Trasporto solido .....	»	164
3.4.1. Moto incipiente del materiale solido.....	»	164
3.4.2. Caratterizzazione dei sedimenti .....	»	166
3.4.3. Metodi di campionamento .....	»	168
3.4.4. Stima del trasporto solido .....	»	170
3.4.4.1. Trasporto solido al fondo .....	»	170
3.4.4.2. Trasporto solido totale.....	»	172
3.4.5. Erosione del bacino .....	»	172
3.4.6. Bilancio sedimentologico .....	»	174
3.5. Bibliografia .....	»	177
<b>4. DIMENSIONAMENTO DI OPERE IDRAULICHE SUI CORSI D'ACQUA</b>		
4.1. Interventi di riduzione dei colmi di piena .....	»	181
4.1.1. Scolmatori e diversivi.....	»	181
4.1.2. Casse di espansione .....	»	188
4.1.2.1. Casse di espansione in linea .....	»	188
4.1.2.2. Casse di espansione in derivazione .....	»	189
4.1.2.3. Progettazione e realizzazione .....	»	195
4.1.2.4. Verifica del funzionamento idraulico della cassa .....	»	197
4.1.2.5. Parametri caratteristici delle casse di espansione .....	»	205
4.1.2.6. Gestione e monitoraggio .....	»	206
4.2. Sistemazione dei corsi d'acqua montani e pedecollinari .....	»	206
4.2.1. Pendenza di progetto: briglie e soglie trasversali .....	»	208
4.2.2. Opere di difesa spondale.....	»	212
4.2.2.1. Muri .....	»	212
4.2.2.2. Gabbioni .....	»	213
4.2.2.3. Opere in scogliera .....	»	214
4.2.2.4. Muri in terra armata .....	»	217
4.2.2.5. Difese spondali con tecniche di ingegneria naturalistica .....	»	224
4.3. Interventi idraulici sui corsi d'acqua di pianura .....	»	235
4.3.1. Arginature .....	»	235
4.3.1.1. Franco di sicurezza .....	»	236
4.3.1.2. Aspetti normativi .....	»	236
4.3.1.3. Modalità costruttive .....	»	238
4.3.1.4. Indagini .....	»	239
4.3.1.5. Moti di filtrazione .....	»	239
4.3.1.6. Rivestimenti .....	»	246
4.3.2. Opere antirigurgito alla confluenza. Le chiaviche.....	»	247

4.3.3.	Il recupero dell'assetto naturale .....	» 248
4.4.	Opere in corrispondenza di attraversamenti fluviali .....	» 252
4.4.1.	Criteri geometrici per la compatibilità idraulica dei ponti .....	» 253
4.4.2.	Protezione delle pile in alveo .....	» 255
4.4.3.	Opere di difesa e mitigazione .....	» 256
4.4.4.	Compatibilità con rilevati arginali .....	» 257
4.5.	Strutture per la risalita della fauna ittica .....	» 259
4.6.	Opere provvisorie in fase di cantierizzazione .....	» 261
4.6.1.	Calcolo della portata di progetto .....	» 262
4.6.2.	Criteri di dimensionamento e di sicurezza .....	» 264
4.7.	Bibliografia .....	» 266

PARTE SECONDA  
APPLICAZIONI SOFTWARE

**5. LA MODELLISTICA NUMERICA APPLICATA ALL'IDRAULICA FLUVIALE**

5.1.	Principi e finalità della modellazione numerica .....	» 273
5.1.1.	Simulazioni idrauliche e idrologiche .....	» 274
5.1.2.	Classificazione e ambiti di applicazione dei modelli numerici .....	» 275
5.1.2.1.	Modelli idrodinamici .....	» 275
5.1.2.2.	Modelli idrologici .....	» 278
5.1.3.	Scelta del tipo di modello .....	» 278
5.2.	Modelli monodimensionali di propagazione delle piene .....	» 280
5.2.1.	Impostazione dei modelli di propagazione .....	» 282
5.2.1.1.	Metodo direct step .....	» 283
5.2.1.2.	Metodo standard step .....	» 284
5.2.2.	Introduzione al codice di calcolo HEC-RAS .....	» 287
5.3.	Modelli pluridimensionali di propagazione delle piene .....	» 292
5.3.1.	Modelli bidimensionali .....	» 292
5.3.2.	Modelli tridimensionali .....	» 296
5.4.	Modelli idrologici .....	» 298
5.4.1.	Struttura e componenti di un modello idrologico afflussi-deflussi .....	» 299
5.4.2.	Introduzione al codice di calcolo HEC-HMS .....	» 302
5.5.	Bibliografia .....	» 305

**6. APPLICAZIONE DEL CODICE HEC-RAS PER LE ANALISI IDRAULICHE**

6.1.	Criteri generali per una corretta impostazione della simulazione .....	» 307
6.1.1.	Elementi morfologici e cartografici .....	» 308
6.1.2.	Serie ed eventi storici .....	» 315
6.1.3.	Scelta del tipo di simulazione .....	» 316
6.2.	Installazione e avvio del software .....	» 318
6.2.1.	Comandi di funzione .....	» 320
6.2.1.1.	Inserimento delle informazioni sul reticolo idrico .....	» 320
6.2.1.2.	Impostazione della simulazione .....	» 321
6.2.1.3.	Visualizzazione dei risultati .....	» 322
6.3.	Definizione degli elementi morfologici e strutturali .....	» 324
6.3.1.	Schema della rete idrica .....	» 324
6.3.2.	Sezioni trasversali .....	» 326
6.3.3.	Confluenze e diramazioni .....	» 339
6.3.4.	Ponti .....	» 340
6.3.5.	Tombini .....	» 356
6.3.6.	Strutture trasversali .....	» 361
6.3.7.	Strutture laterali .....	» 365
6.3.8.	Aree di laminazione .....	» 372
6.3.9.	Impianti di sollevamento .....	» 376
6.3.10.	Ulteriori elementi geometrici e morfologici .....	» 379
6.4.	Simulazioni in moto permanente .....	» 381
6.4.1.	Dati idrologici .....	» 381
6.4.2.	Condizioni al contorno .....	» 384
6.4.3.	Esecuzione della simulazione .....	» 385
6.4.4.	Taratura e verifica della simulazione .....	» 388
6.4.4.1.	Controllo degli output grafici .....	» 389
6.4.4.2.	Controllo dei messaggi di avvertimento .....	» 392

6.5.	Simulazioni in moto vario .....	» 394
6.5.1.	Immissione dei dati idrologici .....	» 394
6.5.2.	Esecuzione della simulazione .....	» 403
6.5.3.	Convergenza della simulazione .....	» 406
6.6.	Schema riassuntivo dei comandi .....	» 408
6.7.	Bibliografia .....	» 410
<b>7. APPLICAZIONI PRATICHE DEL CODICE HEC-RAS</b>		
7.1.	Verifica di un viadotto e calcolo della profondità di scalzamento .....	» 411
7.1.1.	Verifica del viadotto in moto permanente .....	» 411
7.1.2.	Calcolo dello scalzamento massimo raggiungibile .....	» 427
7.2.	Dimensionamento e verifica di una cassa di espansione. Analisi in moto vario .....	» 431
7.3.	Analisi di rischio alla sommersione .....	» 441
7.4.	Dimensionamento e verifica di opere provvisionali in fase di cantierizzazione .....	» 448
<b>8. DETERMINAZIONE DEGLI IDROGRAMMI DI PROGETTO CON IL CODICE HEC-HMS</b>		
8.1.	Il codice HEC-HMS .....	» 453
8.2.	Installazione e avvio del software .....	» 454
8.3.	Caratterizzazione fisica del sistema idrologico .....	» 462
8.3.1.	Modellazione dei bacini idrografici .....	» 462
8.3.2.	Schematizzazione degli elementi idrologici .....	» 463
8.4.	Caratterizzazione meteorologica .....	» 468
8.4.1.	Analisi delle precipitazioni .....	» 468
8.4.2.	Modellazione meteorologica .....	» 471
8.5.	Simulazione idrologica .....	» 473
8.5.1.	Impostazione della simulazione idrologica .....	» 473
8.5.2.	Visualizzazione e taratura dei risultati .....	» 474
8.6.	Esempio di applicazione pratica .....	» 476
8.6.1.	Caratterizzazione fisica e pluviometrica del bacino .....	» 476
8.6.2.	Impostazione e risultati della simulazione numerica .....	» 478
8.7.	Bibliografia .....	» 482
<b>9. GLI APPLICATIVI HEC-GEORAS E HEC-GEOHMS</b>		
9.1.	Introduzione ai GIS .....	» 483
9.2.	Caratteristiche generali e finalità degli applicativi HEC-GeORAS e HEC-GeoHMS .....	» 488
9.3.	L'applicativo HEC-GeORAS .....	» 490
9.3.1.	Creazione dei componenti del reticolo idrografico .....	» 491
9.3.1.1.	Sottomenu CREATE RAS LAYERS .....	» 492
9.3.1.2.	Sottomenu MANNING'S VALUE ATTRIBUTES (assegnazione del valore di Manning n) .....	» 498
9.3.1.3.	Sottomenu LAYER SETUP .....	» 499
9.3.1.4.	Sottomenu EXTRACT GIS DATA .....	» 500
9.3.2.	Scambio dei dati GIS con HEC-RAS .....	» 500
9.3.2.1.	Sottomenu READ RAS GIS EXPORT FILE .....	» 502
9.3.2.2.	Sottomenu INUNDATION MAPPING (mappatura delle inondazioni) .....	» 503
9.4.	Applicativo HEC-GeoHMS .....	» 504
9.4.1.	Elaborazione dati territoriali .....	» 506
9.4.1.1.	Menu TERRAIN PROCESSING .....	» 506
9.4.2.	Estrazione delle informazioni idrologiche .....	» 513
9.4.2.1.	Menu HMS PROJECT SETUP .....	» 513
9.4.2.2.	Menu BASIN PROCESSING .....	» 515
9.4.2.3.	Menu BASIN CHARACTERISTICS .....	» 517
9.4.2.4.	Menu HYDROLOGIC PARAMETERS .....	» 519
9.4.3.	Preparazione dei dati per HEC-HMS .....	» 525
9.5.	Bibliografia .....	» 530
APPENDICE NORMATIVA .....		» 533
RIFERIMENTI TABELLE E FIGURE .....		» 541

## PRESENTAZIONE

Grazie a questo testo sui temi dell'idraulica e dell'idrologia fluviale, tra l'Editore Flaccovio e l'associazione AIAT si stabilisce un contatto dal quale ritengo potranno nascere molte sinergie, a beneficio di una sempre maggiore diffusione in Italia della cultura scientifica sulle tematiche ambientali.

AIAT è un'associazione di professionisti che, seppure giovane, ha già raggiunto riconoscimenti da organizzazioni e istituzioni operanti a livello locale, nazionale ed europeo, grazie al costante impegno profuso, in termini di formazione e informazione, verso il riconoscimento della preparazione e del valore professionale dell'ingegnere ambientale.

Il manuale di Murachelli e Riboni rappresenta indubbiamente uno dei successi in questo percorso. Due ingegneri ambientali si cimentano nella stesura di un testo che nasce e trae la propria linfa da esperienze professionali sul campo, mettendone in risalto il valore anche a fini didattici. Pur riconoscendo che di una trattazione analitica delle leggi dell'idrologia e dell'idraulica fluviale non si può fare a meno (a questa è dedicata la prima parte del volume), gli autori dimostrano che questa, da sola, non può bastare a fornire tutti gli strumenti indispensabili per affrontare con efficacia i problemi quotidiani di chi progetta interventi sui corsi d'acqua e che l'utilizzo di software di calcolo specifici è ormai imprescindibile per chiunque debba affrontare questa materia.

Il testo trova dunque una felice fusione tra l'approccio pragmatico tipico del mondo anglosassone, di cui sono figli i software del U.S. Army Corps of Engineers illustrati in queste pagine, e il rigore scientifico tradizionalmente italiano, che deve sempre guidare il tecnico e aiutarlo a non perdere il segno, a non "lasciarsi travolgere dai numeri" generati dal computer. Il linguaggio è volutamente semplice, accessibile anche a chi non abbia alle spalle una preparazione ingegneristica, ma ciò non ne pregiudica l'efficacia anche a fini didattici in ambito universitario. Per chi è abituato ormai da anni a leggere libri su queste tematiche, vecchie quante l'uomo, l'approccio qui adottato potrà forse sembrare particolarmente innovativo. Personalmente mi sento di salutare la scelta degli autori come un segno di modernità e di apertura al confronto con l'Europa, che sono convinto discenda anche dalla loro formazione di ingegneri per l'ambiente e il territorio.

*Emanuele Regalini*  
*Presidente AIAT*

## L'AIAT

AIAT, Associazione ingegneri per l'ambiente e il territorio, è un'associazione di laureati e studenti del corso di ingegneria per l'ambiente e il territorio provenienti da tutti gli atenei italiani.

Nata a Milano nel 1999 per promuovere la figura dell'ingegnere ambientale, negli ultimi anni ha visto una veloce crescita dei propri iscritti e una sempre più apprezzata interazione con pubbliche amministrazioni, organizzazioni e aziende di settore. Rappresenta attualmente uno dei principali network di professionisti dell'ambiente in Italia.

Tra le principali attività svolte rientrano servizi per gli iscritti e per le aziende sostenitrici, partecipazioni a fiere e convegni, creazione di un comitato scientifico, un sito internet ([www.ingegneriambientali.it](http://www.ingegneriambientali.it)) prezioso per chi opera nel settore ambientale, un organo ufficiale di stampa, l'ideazione e il coordinamento di progetti sul territorio. Nel 2003 è entrata in Europa tramite l'adesione a EFAEP (Federazione Europea delle Associazioni dei Professionisti dell'Ambiente), che raccoglie circa 40.000 professionisti ambientali europei e per la quale ha coordinato lo sviluppo del portale ENEP (*European Network of Environmental Professionals*).

AIAT è presente anche a livello locale tramite una rete di sedi regionali.

## PREMESSA

L'esposizione del nostro territorio a calamità naturali, e il conseguente tragico bilancio di vittime registrato periodicamente, rendono la difesa del suolo un tema sempre più attuale nell'ambito dell'ingegneria ambientale, insieme all'analisi delle dinamiche idrologiche e idrauliche a scala di bacino idrografico e legate al reticolo idrico superficiale, finalizzate allo studio delle condizioni di rischio idraulico e alla progettazione dei necessari interventi di mitigazione.

In queste discipline, anche e soprattutto alla luce dei numerosi e recenti eventi alluvionali con conseguenze drammatiche, la teoria va connessa strettamente con i concetti di prevenzione e mitigazione per ciò che riguarda rischi esistenti e con i principi di corretta progettazione di opere e interventi legati a situazioni di rischio potenziale. In tale ambito, le tecniche applicative hanno subito negli ultimi decenni una rapida evoluzione, legata allo sviluppo di strumenti informatici sempre più performanti e affidabili e, contemporaneamente, di semplice utilizzo.

In questo senso gran parte della letteratura tecnica a disposizione è spesso frammentata in una miriade di testi e pubblicazioni per lo più straniere e i più moderni e diffusi strumenti informatici di ausilio al progettista sono il risultato del lavoro di istituzioni civili e militari statunitensi, mentre manca quasi del tutto la manualistica in lingua italiana a riguardo.

Questo volume nasce con l'intento di fornire sia a chi necessiti o desideri approssimarsi alla simulazione numerica in ambito idrologico e idraulico, sia a chi intenda approfondire le proprie conoscenze in questo campo, uno strumento in grado di guidare verso la corretta impostazione e implementazione di uno studio modellistico, con esempi concreti delle applicazioni più ricorrenti di due tra i codici di calcolo più diffusi nel campo dell'idraulica fluviale e dello studio dei bacini idrografici.

Insieme ai richiami teorici viene, infatti, fornita un'ampia trattazione sui programmi di simulazione numerica HEC-RAS e HEC-HMS e sui rispettivi applicativi GIS HEC-GeORAS e HEC-GeOHMS, strumenti che permettono una risoluzione autonoma e flessibile delle più frequenti problematiche che possono presentarsi sia a livello di progettazione che di pianificazione territoriale. Vengono illustrati i metodi pratici e le tecniche più adatte per l'applicazione dei modelli di simulazione numerica supportandoli con esempi di applicazioni concrete.

Il testo si divide in due parti. La prima richiama concetti teorici riguardanti l'idraulica fluviale, l'analisi idrologica e idrodinamica e la progettazione di opere idrauliche o comunque interferenti con i corsi d'acqua; essa trae spunto sia dall'esperienza maturata dagli Autori che dall'analisi critica di normative, linee guida e testi specialistici documentati in bibliografia.

La seconda tratta le tecniche di modellazione numerica di sistemi fluviali da applicare ai codici HEC-RAS e HEC-HMS. Tali codici vengono illustrati e richiamati dagli applicativi GIS HEC-GeORAS e HEC-GeOHMS. I software citati sono di pubblico dominio e scaricabili liberamente dal sito dell'U.S. Army Corps of Engineers. Sul sito dell'Editore è possibile scaricare i fogli di calcolo appositamente elaborati per la definizione dei parametri idrologici di progetto e il cui utilizzo viene illustrato nel capitolo 8.

L'editore, così come lo stesso Hydrologic Engineering Center, non fornisce assistenza relativamente ai programmi citati; per eventuali dubbi o segnalazioni è possibile scrivere ad [amurachelli.rischioidraulico@gmail.com](mailto:amurachelli.rischioidraulico@gmail.com).

PARTE PRIMA  
TEORIA DI CALCOLO

# 1. PRINCIPI E FINALITÀ DELL'IDRAULICA FLUVIALE

## 1.1. Generalità

Il rapido sviluppo economico e sociale avvenuto negli ultimi decenni ha comportato un sensibile e progressivo impiego delle risorse naturali e degli spazi disponibili. In particolare sono aumentati i consumi d'acqua pro-capite per gli usi civili industriali, le fonti inquinanti di aria, acqua e suolo e il consumo di territorio per ospitare infrastrutture e attività antropiche.

Non fanno eccezione le risorse connesse con gli ambienti fluviali e i versanti dei rispettivi bacini idrografici, soggetti a interventi che ne hanno alterato le condizioni naturali favorendone il dissesto idrogeologico. Le attività di disboscamento hanno ridotto la resistenza dei suoli all'erosione progressiva e la capacità degli stessi di trattenere l'acqua piovana, mentre la forte urbanizzazione in aree di esondazione naturale, la realizzazione di infrastrutture di attraversamento interferenti con i corsi d'acqua, le rettificazioni e le arginature allo scopo di recuperare aree urbanizzabili hanno comportato l'intensificazione dei fenomeni di piena nelle aree poste più a valle.

Contemporaneamente, il miglioramento delle condizioni economiche ha comportato l'aumento del valore dei beni esposti al rischio idraulico.

Per tali ragioni, la disciplina dell'idraulica fluviale diventa un fondamentale strumento di governo del territorio, sia per quanto attiene alla pianificazione urbanistica e alla predisposizione di opportuni piani e procedure di protezione civile, sia per quanto riguarda la progettazione di interventi di mitigazione. Tale disciplina si è profondamente modificata e arricchita in questi ultimi anni, assieme alla consapevolezza che gli interventi di regimazione non sono più da intendersi in una sola direzione, a vantaggio cioè di interessi economici di breve termine, ma devono prevedere azioni e risorse economiche impegnate anche nella tutela della dinamica fluviale. Assume, quindi, importanza fondamentale la corretta analisi della mutua interferenza tra infrastrutture e interventi antropici da una parte e dinamiche naturali dei corsi d'acqua e degli ecosistemi connessi, sia acquatici che delle fasce perifluviali, dall'altra. Alle discipline classiche dell'idrologia, dell'idraulica e della progettazione di interventi di regimazione invasivi (arginature, rettifiche, cementificazioni, ecc.) si sono affiancate discipline di tutela ambientale nuove o recuperate dal passato: l'ingegneria naturalistica, le valutazioni di impatto ambientale, la realizzazione di nuove tecniche di regimazione come le casse di espansione, ecc.

Anche l'idrologia e l'idraulica hanno avuto significativi progressi. La prima, oltre allo sviluppo di modelli matematici adatti a tenere conto delle informazioni disponi-

bili direttamente dal territorio (ad esempio mediante tecnologie GIS) ha conosciuto lo sviluppo di nuove indagini adatte alla tutela della risorsa idrica come le formule di calcolo per la stima del deflusso minimo vitale (DMV). Lo sviluppo della seconda è strettamente legato alla necessità di ripensare l'idraulica fluviale anche alla luce dell'intensificarsi, sia in termini di frequenza che di entità, di eventi pluviometrici particolarmente gravosi, alternati a stagioni particolarmente aride, come evidenziato chiaramente dalle registrazioni pluviometriche e, di conseguenza, idrometriche negli ultimi decenni. A conferma dell'importanza assunta dalla modellazione numerica dei fenomeni idraulici, vi è il fatto che la stessa pianificazione di bacino si basa su risultati di modelli idraulici a diverso livello di approfondimento.

## 1.2. Vulnerabilità idraulica del territorio

La primaria funzione dell'idraulica fluviale è quella di consentire un corretto inserimento degli insediamenti urbani e delle infrastrutture antropiche in aree potenzialmente interessate dalle dinamiche idrauliche del reticolo idrico superficiale in occasione di eventi di piena. Di seguito verrà definito e illustrato il significato delle grandezze che caratterizzano il grado di rischio e, di conseguenza, la compatibilità tra corsi d'acqua e attività antropica.

### 1.2.1. Interazione tra corsi d'acqua, infrastrutture e insediamenti antropici

Le alluvioni sempre più frequenti e i danni ingenti che ne sono seguiti negli ultimi decenni hanno di fatto messo in evidenza una serie di criticità legate alla pianificazione e gestione degli interventi inerenti il reticolo idrico superficiale.

La legge 183/89 ha sancito l'inizio di una seria presa di coscienza del grado di dissesto del territorio e della necessità di porvi rimedio.

Tale norma prevedeva la redazione di un piano di bacino multidisciplinare e comprensivo di tutta la pianificazione per la difesa del suolo intesa in senso ampio (inquinamento di acqua e suolo, consumo di risorsa idrica, ecc.).

Redigere un piano così vasto sarebbe stato, però, estremamente difficoltoso, così l'articolo 12 della legge n. 493 del 4 dicembre 1993, che integra l'articolo 17 della legge 183/89, introdusse i piani stralcio, atti riferiti a settori specifici (rischio idraulico e idrogeologico, qualità delle acque, ecc.), o riferiti a parti dell'intero bacino. Essi consentivano un intervento più mirato e a breve scadenza in relazione alle maggiori criticità e urgenze.

Inoltre, le situazioni di emergenza che si sono verificate hanno ormai acquisito un carattere ordinario (si pensi al bacino del Po in occasione delle alluvioni del settembre-ottobre 1993 e delle ancor più gravi piene del novembre del 1994 e dell'ottobre del 2000) ed è divenuto in sostanza inevitabile procedere all'elaborazione del piano di bacino per stralci.

In questo modo sono stati dotati i soggetti competenti di strumenti efficaci di gestione con la tempestività e la flessibilità richieste dall'urgenza dei problemi, che non possono invece essere garantite dai tempi di approvazione del piano di bacino generale.

Un piano stralcio, una volta costituito, viene attuato attraverso programmi triennali di intervento. Gli interventi previsti in questi programmi vengono finanziati di anno in anno dallo Stato e la loro realizzazione è affidata agli organi competenti.

L'evento calamitoso che ha colpito Sarno nel maggio del 1998 e le perdite umane che ne sono conseguite hanno accelerato notevolmente le attività in corso in Italia per la produzione dei piani stralcio per la mitigazione del rischio idraulico e idrogeologico. Il D.Lgs. 180/98, la legge 267/98, il D.P.C.M. del 29 settembre 1998, il D.L. 132/99 e la legge 226/99, emanati in seguito a tale evento, prevedevano tra l'altro l'elaborazione dei piani straordinari aventi lo specifico scopo di perimetrare le aree a rischio idrogeologico più elevato, stabilirne i vincoli e identificare gli interventi di mitigazione.

Il relativo piano stralcio di settore è stato, quindi, oggetto di un'ulteriore frammentazione e gerarchizzazione, a dimostrazione delle notevoli difficoltà insite nella pianificazione degli interventi di mitigazione.

L'evento alluvionale che ha colpito Soverato nel settembre del 2000 ha spinto ad accelerare i tempi per la conclusione del quadro conoscitivo in merito al rischio idrogeologico e idraulico e per la definizione degli interventi da realizzare sul territorio.

Il D.L. 279/00 e la successiva conversione nella legge 365/00, infatti, hanno stabilito precise scadenze per l'adozione da parte delle Autorità di bacino dei progetti di piano stralcio di settore (i cosiddetti P.A.I. o piani stralcio per l'assetto idrogeologico).

Dal quadro normativo sopra descritto emerge come il legame tra aree fluviali e insediamenti antropici necessiti di regolamentazioni, interventi e programmi di sviluppo atti a ristabilire una condizione di mutua sostenibilità.

La pianificazione e gli interventi in emergenza spesso rivelano un'ottica di breve termine. È innegabile che la tutela dei corsi d'acqua richieda dei costi sia in termini di rinuncia (mancata occupazione di aree potenzialmente esondabili) sia in termini economici (con soluzioni progettuali integrate che consentano l'adeguato inserimento rispetto al sistema idrografico).

La rinuncia a questi costi e, quindi, a una politica di prevenzione porta nel breve termine a uno sviluppo degli insediamenti antropici con conseguente temporaneo incremento del valore economico delle aree insediate. Tuttavia a lungo termine, in caso di calamità, diventano inevitabili ingenti danni e interventi di ripristino sconsiderati, incompleti e quindi, talvolta, anche controproducenti.

La prevenzione, la pianificazione e la progettazione coordinata degli interventi, seppure comportino nel breve termine costi significativi, si traducono nel lungo termine in un beneficio per gli insediamenti antropici stessi in termini di minore vulnerabilità all'occorrenza di un evento calamitoso.

La tutela dei sistemi fluviali deve, quindi, essere vista come una risorsa per lo sviluppo sostenibile delle generazioni future.

### 1.2.2. Rischio idraulico

La necessità di trovare soluzioni agli effetti di calamità naturali quali quelle alluvionali ha reso indispensabile la quantificazione del concetto di rischio. La cartografia relativa alla perimetrazione delle aree a diverso livello di rischio è lo strumento che consente la pianificazione secondo corretti criteri di compatibilità ambientale.

Un determinato livello di rischio è associato esclusivamente al fatto che in un'area in cui si verificano con una certa probabilità delle inondazioni esistono attività umane che possono subire un danno economico più o meno grave in funzione di molteplici fattori che verranno approfonditi di seguito.

Il rischio idraulico viene definito come la probabilità che avvenga un fenomeno alluvionale di una certa gravità nonché i danni stimati alla salute umana, all'ambiente e alle attività economiche conseguenti a un fenomeno di tale entità.

$$R = P \cdot V \cdot E \quad \text{formula di Varnes} \quad (1.1)$$

dove

$P$  = la pericolosità, ossia la probabilità di accadimento dell'evento di piena entro un certo intervallo di tempo e in una certa area;  $P$  è funzione del tempo di ritorno  $T_r$ , che definisce l'intervallo di tempo medio in cui un evento di una data intensità si verifica almeno una volta;

$V$  = la vulnerabilità, ossia il grado di perdita (espresso in una scala da 0 = nessun danno a 1 = perdita totale) prodotto su un certo elemento o gruppo di elementi esposti a rischio, risultante dal verificarsi dell'evento di piena temuto.  $V$  dipende a sua volta dalla fragilità dell'elemento a rischio e dall'intensità dell'evento;

$E$  = il valore dell'elemento a rischio, ossia il valore (che può essere espresso in termini monetari o di numero o quantità di unità esposte) della popolazione, delle proprietà e delle attività economiche, inclusi i servizi pubblici, a rischio in una data area.

Spesso si ricorre a delle sintesi parziali delle informazioni, poiché spesso non sono facilmente individuabili alcuni elementi, come ad esempio il valore economico dell'elemento esposto. Si può calcolare, anziché il rischio totale  $R$ , il cosiddetto *rischio specifico*  $R_s$  o il danno potenziale  $D$ , definiti come segue:

- il rischio specifico  $R_s$  è il grado di perdita atteso quale conseguenza di un particolare fenomeno naturale. Può essere quindi espresso dal prodotto:

$$R_s = P \cdot V \quad (1.2)$$

- il danno potenziale  $D$  indica l'entità potenziale delle perdite nel caso si verifichi l'evento di piena. Sotto determinate ipotesi può essere espresso dalla seguente relazione:

$$D = V \cdot E \quad (1.3)$$

Per quanto attiene al rischio idraulico, l'entità delle tre grandezze sopra descritte può essere modificata intervenendo nei seguenti modi:

- per la pericolosità si può intervenire con sistemazioni idrauliche;
- per la vulnerabilità si può intervenire con azioni di informazione e prevenzione sulla popolazione e con interventi sulle strutture;
- l'esposizione è determinata dalla presenza di un'attività antropica di qualunque genere che, quindi, ha un determinato valore. L'unico intervento possibile da parte dell'uomo sull'esposizione di infrastrutture è la delocalizzazione, ossia lo spostamento del bene in aree a pericolosità trascurabile. Come si può immaginare questo tipo di intervento è molto difficile da applicare ed è stato realizzato solo in caso di grave disastro (ove si è ricostruito altrove) o in caso di infrastrutture sensibili altamente a rischio (ad esempio scuole e ospedali). L'esposizione della popolazione può, invece, essere sensibilmente ridotta attraverso adeguati piani e procedure di protezione civile.

Il D.P.C.M. del 29 settembre 1998 ha stabilito che il territorio soggetto a rischio idraulico dovesse essere suddiviso in quattro classi di rischio di seguito descritte:

- R1 (moderato), per il quale i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono marginali;
- R2 (medio), per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;
- R3 (elevato), per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, l'interruzione di funzionalità delle attività socioeconomiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale;
- R4 (molto elevato), per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socioeconomiche.

Negli scorsi decenni si è verificata una progressiva attenuazione della percezione di situazioni di rischio idraulico, legate alla diversa scala temporale tra attività antropiche (come ad esempio la veloce espansione delle aree urbane) e i tempi di ricorrenza di fenomeni alluvionali. Si è così assistito all'occupazione di aree di chiara pertinenza fluviale e alla conseguente e poco oculata realizzazione di opere di sistemazione idraulica fortemente invasive e ad elevato impatto ambientale.

La crescente frequenza di eventi calamitosi negli ultimi anni ha ripristinato una certa sensibilità relativamente alle problematiche idrogeologiche, anche se più in un'ottica di emergenza che di prevenzione.

Un altro aspetto importante spesso trascurato è il concetto di rischio residuo o rischio

accettabile, definito come il livello di rischio compatibile con le condizioni economiche e sociali di una data area.

La tolleranza a sopportare le conseguenze di una situazione di rischio in generale è sempre più ridotta e anche in aree ad elevata pericolosità ci si aspetta che un intervento di difesa del territorio porti a un livello di rischio nullo.

Tale condizione non si può ovviamente verificare, dal momento che un rischio può normalmente essere minimizzato ma non eliminato. Ogni opera viene progettata per ridurre il livello di rischio fino a un valore ritenuto accettabile, al di sotto del quale l'incremento dei costi di costruzione dell'opera superano il beneficio marginale in termini di riduzione del danno.

È possibile quantificare il livello di rischio residuo  $R_r$ , ossia la probabilità di fallanza di un'opera progettata per fronteggiare un evento calamitoso di tempo di ritorno  $T_r$  (espresso in anni) durante la sua vita tecnica stimata in  $n$  anni (è la durata di un'opera oltre la quale è necessario procedere alla ricostruzione o alla sostanziale ristrutturazione):

$$R_r = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^n \quad (1.4)$$

Nella seguente tabella si riportano alcuni valori del rischio residuo  $R_r$  in funzione del tempo di ritorno  $T_r$  e della vita utile  $n$ .

Tabella 1.1. Valori di  $R_r$  in funzione di  $T_r$  ed  $n$

$T_r$	$N$			
	10	20	30	50
10	65%	88%	96%	99%
20	40%	64%	79%	92%
50	18%	33%	45%	64%
100	10%	18%	26%	39%
200	5%	10%	14%	22%

Ad esempio, se si progetta una difesa spondale che sia in grado di difendere da un evento di piena con probabilità di ricorrenza pari a  $T_r = 200$  anni, durante la vita attesa dell'opera pari a 50 anni esiste la probabilità del 22% che si verifichi un evento superiore a quello di progetto.

### 1.2.2.1. Pericolosità

Come già detto in precedenza la pericolosità  $P$  esprime la probabilità di accadimento dell'evento di piena entro un certo intervallo di tempo e in una certa area. Sempre il

D.P.C.M. del 29 settembre 1998 ha stabilito 3 classi con un diverso livello di probabilità di esondazione:

- classe P1, per aree a bassa probabilità di esondazione (indicativamente con  $T_r$  di 300-500 anni);
- classe P2, per aree a moderata probabilità di esondazione (indicativamente con  $T_r$  di 100-200 anni);
- classe P3, per aree ad alta probabilità di esondazione (indicativamente con tempo di ritorno  $T_r$  di 20-50 anni).

Seguendo le suddette direttive, ogni autorità di bacino ha perimetrato le aree limitrofe ai corsi d'acqua principali. La perimetrazione, che ogni Ente ha svolto in maniera autonoma, ha comportato le seguenti indagini e verifiche:

- analisi storiche delle piene e delle aree allagate;
- analisi idrologiche, finalizzate al calcolo delle portate al colmo per i vari tempi di ritorno;
- verifiche idrauliche con modelli in moto permanente o vario, di tipo monodimensionale o bidimensionale.

L'impatto di un fenomeno alluvionale non è esclusivamente funzione dei volumi idrici che esondano dal corso d'acqua, ma dipende anche da altri fattori come:

- l'altezza della lama d'acqua; maggiore è l'altezza massima, maggiori sono i danni arrecati a edifici e infrastrutture;

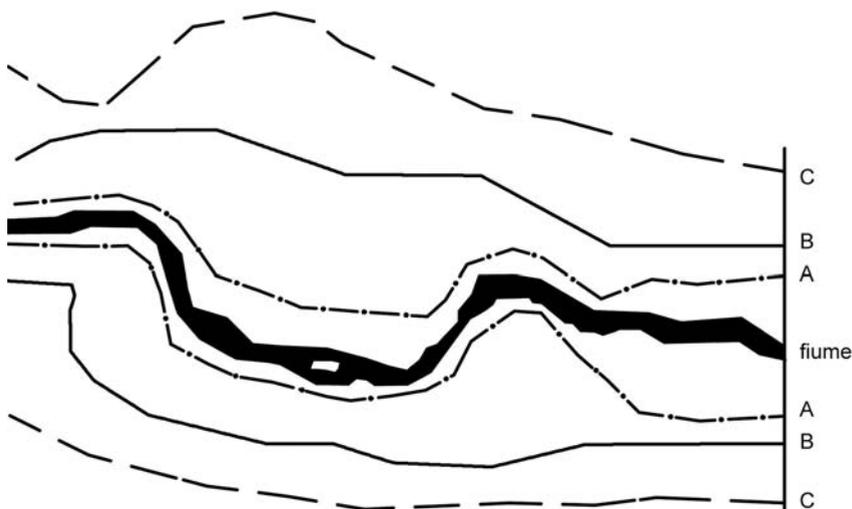


Figura 1.1

Schema di delimitazione delle fasce fluviali per i corsi d'acqua del bacino del Po così come stabilita dall'Autorità di bacino. A = fascia di deflusso di piena; B = fascia di esondazione; C = Area di inondazione per piena catastrofica

- la velocità della corrente; l'erosione può causare il crollo degli edifici, inoltre la corrente può trasportare materiali ingombranti, come auto e tronchi d'albero, che possono impattare violentemente danneggiando infrastrutture o ferendo persone;
- la velocità di innalzamento dei livelli idrici, determinante per tutte le misure di prevenzione e di protezione civile;
- la presenza di onde; crolli improvvisi di strutture (come dighe, argini o ponti) possono provocare aumenti repentini delle portate e, di conseguenza, dei livelli idrometrici e della velocità della corrente;
- il trasporto di detriti; i corsi d'acqua durante le piene trasportano una grande quantità di materiale che si deposita all'interno degli edifici coinvolti e che richiede tempi lunghi per la rimozione;
- il tempo di permanenza dell'allagamento; in alcune aree l'acqua può permanere per giorni, incrementando ulteriormente i danni in quanto le strutture si deteriorano e la decomposizione di materiali organici comporta rischi sanitari.

Alcune autorità di bacino nella fase di approfondimento delle verifiche idrauliche hanno tenuto conto di alcuni di questi fattori per la stima della pericolosità.

Nella figura 1.1 si riporta l'esempio della perimetrazione svolta dall'Autorità di bacino del fiume Po tramite la definizione di tre tipologie di fasce fluviali.

#### 1.2.2.2. Esposizione

Per la valutazione dell'esposizione è necessario svolgere indagini accurate sul territorio al fine di individuare e classificare la presenza dei seguenti elementi a rischio:

- popolazione (residenti, lavoratori, turisti, ecc.);
- infrastrutture (trasporto persone e merci, trasporto servizi essenziali come acqua, energia elettrica e gas, trasporto dati e informazioni, ecc.);
- beni immobili (edifici privati, edifici pubblici, capannoni per attività commerciali e industriali, edifici ospitanti attività ricreative, strutture ricettive, ecc.);
- beni ambientali (aree naturali e agricole, riserve e parchi, edifici e aree a elevato pregio artistico-storico).

#### 1.2.2.3. Vulnerabilità

In genere con il termine vulnerabilità si intende la carenza o debolezza di tutti gli elementi nei confronti di un evento calamitoso e delle sue conseguenze. In questa definizione si vuole tenere conto sia della predisposizione degli elementi esposti di un'area a subire danni, sia del grado di capacità dell'organizzazione territoriale a reagire e a fronteggiare la sollecitazione dovuta all'evento.

La vulnerabilità è funzione di diversi parametri e, in relazione al livello di dettaglio dell'analisi e degli aspetti su cui si vuole indagare, può essere valutata in modo differente. Le categorie di elementi vulnerabili possono essere caratterizzate dal numero di unità, dall'estensione superficiale o dal valore economico attribuito per unità o per km<sup>2</sup>.