



L.R. 23 novembre 2011, n. 22- Norme in materia di riqualificazione urbana sostenibile e assetto idrogeologico e modifiche alle leggi regionali 5 agosto 1992, n. 34 "norme in materia urbanistica, paesaggistica e di assetto del territorio" e 8 ottobre 2009, n. 22 "Interventi della regione per il riavvio delle attività edilizie al fine di fronteggiare la crisi economica, difendere l'occupazione, migliorare la sicurezza degli edifici e promuovere tecniche di edilizia sostenibile"

(art. 10, comma 4)

**CRITERI, MODALITÀ E INDICAZIONI TECNICO-OPERATIVE  
PER LA REDAZIONE  
DELLA VERIFICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA  
DEGLI STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE TERRITORIALE  
E PER L'INVARIANZA IDRAULICA  
DELLE TRASFORMAZIONI TERRITORIALI  
(Delibera di Giunta Regionale n. 53 del 27/1/2014)**

**LINEE GUIDA**

**(Titolo I – Paragrafo 1.4)**

**“A” - SVILUPPO DELLA  
VERIFICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA**

A.1. PREMESSE .....	3
A.2. ANALISI IDROGRAFICA-BIBLIOGRAFICA-STORICA .....	4
A.2.1. INDIVIDUAZIONE DEL RETICOLO IDROGRAFICO .....	4
A.2.2. RICERCA BIBLIOGRAFICA E STORICA .....	5
A.2.3. RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI.....	5
A.3. ANALISI GEOMORFOLOGICA.....	6
A.3.1. RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI.....	9
A.4. ANALISI IDROLOGICA-IDRAULICA .....	11
A.4.1. ANALISI IDROLOGICA .....	11
A.4.1.1. <i>Metodi di stima delle portate</i> .....	12
A.4.1.2. <i>Indicazioni operative sull'uso del metodo razionale</i> .....	13
A.4.2. RILIEVO TOPOGRAFICO .....	17
A.4.3. VERIFICHE IDRAULICHE .....	19
A.4.3.1. <i>Indicazioni operative per i calcoli idraulici</i> .....	20
A.4.3.1.1. <i>Coefficienti di scabrezza</i> .....	20
A.4.3.1.2. <i>Opere di difesa dalle inondazioni e attraversamenti</i> .....	24
A.4.3.1.3. <i>Confluenza fluviali e immissione a mare</i> .....	26
A.4.4. RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI.....	27
A.5. SINTESI DELLE ANALISI .....	29
A.6. BIBLIOGRAFIA.....	30

## **A.1. PREMESSE**

Nei paragrafi successivi sono specificate alcune indicazioni tecniche da considerare come orientamento e aiuto per lo sviluppo della Verifica di Compatibilità Idraulica, in particolare per la trattazione dei dati/analisi da considerare nei diversi livelli richiesti.

La Verifica di Compatibilità Idraulica si sviluppa su più livelli di approfondimento e, a seconda del livello di sviluppo della stessa, deriva dalla integrazione dei seguenti dati/analisi:

- bibliografici e storici: permettono di ottenere informazioni sugli effetti di precedenti eventi di inondazione, nonché sugli studi esistenti e sull'individuazione delle aree inondabili negli strumenti di Programmazione esistenti, utili al fine di tarare le analisi geomorfologiche e idrauliche;
- geomorfologici: permettono di ottenere informazioni sulla porzione di territorio interessabile dalle dinamiche fluviali, sui processi geomorfologici predominanti e sugli elementi geomorfologici che delimitano le aree interessabili da fenomeni di piena, nonché sull'evoluzione nel tempo del corso d'acqua e delle aree di pertinenza fluviale;
- idrologici-idraulici: permettono di quantificare, in relazione a criteri fissati convenzionalmente (es: tempo di ritorno), le aree inondabili; in genere, salvo analisi di maggior impegno, tali verifiche si riferiscono a schematizzazioni geometriche statiche dell'alveo.

Ciascuno di questi tre gruppi di dati/analisi è utile e importante al fine di definire nella maniera più possibile attinente alla realtà le aree interessabili dalle dinamiche fluviali e la Verifica di Compatibilità Idraulica risulterà dalla integrazione e sintesi ragionata dei suddetti dati, evidenziando la congruenza tra l'insieme delle informazioni raccolte e le analisi effettuate.

Il grado di approfondimento degli studi è in funzione dell'importanza della trasformazione territoriale prevista e della situazione della rete idrografica nel contesto in cui si colloca la trasformazione territoriale; indicativamente è più approfondito in funzione dell'ampiezza del bacino sotteso, della vicinanza al corso d'acqua, dell'esistenza di dati su precedenti eventi di allagamento/dissesto, della consistenza e del livello di attuazione della trasformazione territoriale.

Gli studi saranno redatti da tecnici professionisti abilitati, con competenze adeguate, secondo la legislazione vigente, nelle materie riguardanti la Verifica di Compatibilità idraulica.

## **A.2. ANALISI IDROGRAFICA-BIBLIOGRAFICA-STORICA**

Tale analisi ha lo scopo di individuare il reticolo idrografico attuale e quello storico recente, le aree mappate come inondabili negli strumenti di pianificazione di settore redatti dalle Autorità di bacino/Distretto (es: Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico-PAI, Piano di gestione del rischio alluvioni-PGRA), le aree inondabili individuate in altri strumenti di pianificazione e le aree individuabili come inondabili e/o inondate sulla base degli studi e delle informazioni storiche disponibili.

In definitiva si raccoglieranno gli elementi utili per individuare le situazioni dove potrebbero essere presenti criticità effettive o potenziali che potrebbero interferire con le previsioni urbanistiche.

In ogni caso laddove si ha la presenza di porzioni del reticolo idrografico, anche in un ampio intorno dall'area di interesse, l'assenza di segnalazioni su precedenti criticità, l'assenza di studi-analisi sulla presenza di aree inondabili o la mancata individuazione di aree inondabili negli strumenti di programmazione, non esclude che le aree possano essere interessabili da criticità di carattere idraulico.

L'analisi va sviluppata per le aree di interesse ed un loro intorno significativo, anche ampio, in funzione del contesto morfologico.

### **A.2.1. INDIVIDUAZIONE DEL RETICOLO IDROGRAFICO**

In primo luogo è individuata la rete idrografica attuale e recente attraverso la consultazione della cartografia disponibile per l'area.

L'analisi della rete idrografica, individuata nella cartografia disponibile, è opportuno che sia estesa fino ad un orizzonte temporale di almeno 50-60 anni, al fine di verificare eventuali situazioni di obliterazione o modifica del reticolo idrografico.

Verranno consultate almeno:

- Mappe catastali, con l'individuazione dei corsi d'acqua demaniali (ovvero della Acque esenti da estimo).
- Carta Tecnica Regionale (scala 1:10.000 o maggiore);
- Cartografia I.G.M. – Tavole (Carta Corografica del territorio Italiano scala 1:25.000), a partire da quelle relative agli anni '40-'50;
- Carte tecniche comunali, ove disponibili;

Facoltativamente, qualora disponibile e utilizzabile, può essere analizzata anche la cartografia storica dell'I.G.M. (fine '800), nonché eventuali fotografie aeree a disposizione di Enti o disponibili presso siti internet istituzionali (es: Portale Cartografico Nazionale, Autorità di bacino, Province, Comunità Montane, Comuni).

### **A.2.2. RICERCA BIBLIOGRAFICA E STORICA**

Nel corso dell'analisi preliminare vanno raccolte le informazioni disponibili relative alla individuazione di aree inondabili mappate negli strumenti di programmazione esistenti.

Tra gli strumenti di programmazione verranno considerati:

- Piani stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico – PAI, Piani straordinari per il rischio idrogeologico, Piani di gestione del rischio alluvioni-PGRA o altri strumenti di programmazione delle Autorità di bacino/Autorità di Distretto;
- Piano Regolatore Comunale (cartografia geomorfologica e cartografia delle pericolosità geologiche);
- Piano Comunale o Intercomunale di Protezione civile (ove disponibile);

Potranno essere utilmente utilizzati altri strumenti di programmazione, nonché altri studi disponibili, specificando i riferimenti delle fonti utilizzate.

Tra gli studi disponibili si segnala il Rilievo critico del Reticolo Idrografico Minore della Regione Marche (RIM), disponibile presso la Struttura tecnica regionale competente in materia di Difesa del suolo, e l'archivio del Progetto AVI – Censimento delle aree italiane storicamente vulnerate da calamità geologiche ed idrauliche – del Gruppo Nazionale Difesa dalle Catastrofi idrogeologiche, <http://avi.gndci.cnr.it/>).

Inoltre, vanno raccolte eventuali informazioni/segnalazioni relative a criticità o eventi di allagamento e inondazione avvenute in passato.

Le informazioni, provenienti da varie fonti (es: articoli di stampa, fotografie, testi, relazioni tecniche, rapporti di evento, segni lasciati per ricordare il livello delle acque raggiunto in caso di piena, testimonianze), sono da documentare specificandone la fonte, il periodo temporale al quale si riferiscono e valutandone l'attendibilità.

### **A.2.3. RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI**

I risultati dell'analisi idrografica-bibliografica-storica sono riassunti in relazione, descrivendo:

- le cartografie utilizzate (specificandone fonte ed anno);
- gli strumenti di programmazione consultati (tipo e anno di redazione);
- altri studi di esonibili (tipo, fonte e anno di redazione);
- le informazioni/segnalazioni raccolte, specificandone la fonte, il periodo temporale al quale si riferiscono e l'attendibilità;
- la posizione dell'area di interesse rispetto al reticolo idrografico
- le potenzialità criticità del reticolo idrografico, fornendo indicazioni sull'inondabilità accertata e potenziale dell'area di interesse sulla base dei dati raccolti.

Alla relazione è allegata una cartografia, a scala non inferiore a 1:10.000, con:

- l'individuazione del reticolo idrografico; è opportuno individuare il reticolo idrografico attuale e, possibilmente, per completezza, quello storico (es: riportato in mappe catastali ma attualmente modificato);
- la distinzione delle:
  - a. aree inondabili mappate nei PAI o in altri strumenti di programmazione delle Autorità di bacino/Autorità di Distretto, per vari tempi di ritorno (fino a piene con tempo di ritorno di 500 anni, ove disponibili);
  - b. aree inondabili secondo altri strumenti di programmazione;
  - c. aree inondabili/inondate ricavate da studi o altre fonti (distinguendole per fonte);
  - d. aree demaniali indisponibili (acque esenti da estimo).

Si ricorda, secondo quanto indicato nella D.G.R. 53 del 27/01/2014, che l'Analisi Idrografica-Bibliografica-Storica è contenuta in ogni livello di analisi della Verifica di Compatibilità Idraulica ed è sempre da sviluppare.

Lo sviluppo della sola Analisi Idrografica-Bibliografica-Storica, nell'ambito della Verifica Preliminare, permette di valutare l'eventuale esclusione dai successivi livelli di analisi solo nel caso in cui l'area interessata dalla strumento di pianificazione sia posta ad una quota e distanza tale da non essere sicuramente interessabile (ovvero inequivocabilmente e senza incertezze) da potenziali fenomeni inondazione/allagamento del reticolo idrografico e non sia sicuramente interessabile dalle dinamiche fluviali, anche in un orizzonte temporale di lungo periodo.

A tale proposito si evidenzia che lo scopo dell'art. 10 della L.R. 22/2011 è quello di evitare l'aggravamento delle condizioni di rischio idraulico esistente o pregiudicare la riduzione futura di tale livello, facendo sì che le scelte pianificatorie fin dalla fase della loro ideazione valutino la pericolosità idraulica presente e potenziale.

In definitiva le valutazioni dovranno essere ricondotte alla massima cautela al fine di raggiungere i suddetti obiettivi e nel caso di mancanza di inequivocabile evidenza di quanto sopra indicato, saranno sviluppati i successivi livelli di analisi della Verifica di Compatibilità Idraulica. Pertanto, negli ambiti di pianura sono generalmente da sviluppare i successivi livelli di analisi.

### **A.3. ANALISI GEOMORFOLOGICA**

L'analisi geomorfologica del sistema idrografico e delle aree limitrofe, sviluppata non solo con riferimento allo stato attuale, ma anche con riferimento alla sua evoluzione nel medio periodo (50-100 anni), confrontata con le informazioni derivanti dall'Analisi idrografica-bibliografica-storica, costituisce un elemento sostanziale al fine di individuare la fascia di pertinenza fluviale su base geomorfologica e, con l'Analisi idrologico-idraulica, per l'individuazione delle fasce a differente pericolosità idraulica.

Secondo quanto indicato nella D.G.R. 53 del 27/01/2014 l'Analisi Geomorfologica insieme all'Analisi Idrografica-Bibliografica-Storica permette di effettuare la Verifica semplificata, mentre insieme all'Analisi Idrografica-Bibliografica-Storica e all'Analisi Idrologico-Idraulica permette di effettuare la Verifica completa (obbligatoriamente richiesta nei casi indicati nella stessa D.G.R. 53/2014).

Attraverso l'analisi geomorfologica sono individuate le forme principali che caratterizzano il sistema idrografico naturale: alveo attivo, piana inondabile s.s. e per piene eccezionali, sponde e argini, scarpate principali e bordi di terrazzo (attivi e quiescenti). Inoltre, sono individuati i tratti di reticolo idrografico interessati da evidenti fenomeni di incisione dell'alveo, sovralluvionamento o significativa erosione delle sponde.

In tale fase l'uso di fotografie aeree è importante per la migliore individuazione delle superfici terrazzate, per l'individuazione di antiche direzioni di scorrimento, alvei e meandri abbandonati.

Nel corso dell'analisi si individueranno le morfologie e le forme che caratterizzano la piana inondabile per piene eccezionali e che possono delimitare tale piana: bordi di terrazzi, scarpate (almeno quelle con altezza mediamente superiore a 1.0-1.5 m), rotture di pendenza, zone depresse, principali direzioni di scorrimento, alvei e meandri abbandonati. Sono individuati anche gli elementi antropici principali (ponti, argini artificiali, difese di sponda, traverse, rilevati nella piana inondabile, ..... ) che possono influenzare lo sviluppo dei fenomeni di inondazione.

Attraverso l'Analisi geomorfologica si analizzeranno i seguenti aspetti:

- morfologia principale dell'alveo: unicursale (rettilineo, sinuoso, meandriforme), pluricursale (a canali intrecciati, anastomizzato) o transizionale (sinuoso a barre alternate, wandering);
- stato dell'alveo riguardo alla configurazione del fondo: roccia o substrato, colluviale, gradinata, letto piano, riffle-pool, dune, artificiale;
- litologia/sedimenti dominanti del fondo alveo e delle sponde;
- forme di accumulo presenti in alveo (barre);
- tipologia della vegetazione in alveo e sulle sponde;
- presenza di detriti vegetali in alveo/sponde, sulla piana inondabile e presso le opere antropiche;
- stato delle sponde e del fondo e loro evidenze evolutive/mobilità: tendenze all'incisione, erosione di sponda, ecc.
- caratteristiche e stato di conservazione-manutenzione delle opere antropiche in alveo (longitudinali e trasversali) o per la difesa da fenomeni di allagamento: opere di difesa trasversali, opere di difesa longitudinali, sbarramenti, argini, attraversamenti; per tali opere antropiche indicare, se possibile, l'anno (o decennio) di realizzazione;

- individuazione delle singolarità (strette naturali o artificiali, abbassamenti delle sponde, abbassamenti arginali) dalle quali si possono propagare i fenomeni di inondazione e individuazione delle morfologie che guidano la propagazione delle inondazioni nelle aree esterne all'alveo;
- descrizione dell'area golenale e della piana inondabile per piene eccezionali: uso del suolo, tipo di vegetazione, bordi dei terrazzi che delimitano la piana inondabile per piene eccezionali, bordi di terrazzi/scarpate minori, presenza di discontinuità morfologiche, canali secondari, tracce di meandri abbandonati, alvei fluviali abbandonati, zone con ristagno di acqua, laghi, presenza di opere-manufatti (rilevati infrastrutturali, edifici, ecc.) o depositi antropici.

Attraverso l'Analisi geomorfologica, confrontata con l'Analisi idrografica-bibliografica-storica, si individuerà la fascia di pertinenza fluviale su base geomorfologica, ovvero la porzione di territorio perifluviale definita per le componenti geomorfologiche e idrodinamiche in rapporto alle piene eccezionali di elevato tempo di ritorno e alla possibile evoluzione planimetrica dell'alveo e delle scarpate fluviali. Essa include le aree inondabili per piene eccezionali relative a tempi di ritorno di centinaia di anni, le forme fluviali riattivabili con piene eccezionali, le aree interessate/interessabili dall'evoluzione-mobilità dell'alveo e delle scarpate fluviali.

Per la delimitazione della fascia di pertinenza fluviale su base geomorfologica le strutture arginali non sono considerabili quali elementi di confinamento, ovvero l'individuazione della fascia prescinde dalla loro presenza; la valutazione dell'idoneità quali opere per contenere i livelli idrici potrà essere effettuata sulla base dell'esecuzione/disponibilità di analisi idrologico-idrauliche ed eventualmente di analisi geotecniche.

Entro la fascia di pertinenza fluviale su base geomorfologica sono incluse le aree inondabili per piene eccezionali individuate su base geomorfologica. Al fine della loro individuazione sono considerate le criticità esistenti nel tratto, quali zone in erosione, restringimenti, punti di possibile tracimazione, sovralluvionamenti e, soprattutto, le forme morfologiche-geomorfologiche che appaiono chiaramente confinare le acque di piena per eventi eccezionali. L'individuazione del limite della piana inondabile per piene eccezionali in corrispondenza di tali forme è funzione di vari fattori da valutare in maniera integrata: importanza del corso d'acqua (ampiezza dell'alveo e bacino sotteso, che esprimono una indicazione dell'entità delle portate di piena che possono interessarlo), presenza di restringimenti-ostruzioni nel corso d'acqua, entità (altezza) delle forme e distanza dal corso d'acqua.

In ogni caso la mappatura delle aree inondabili su base geomorfologica va eseguita in maniera adeguatamente cautelativa, con l'obiettivo concettuale dell'inclusione delle aree inondabili per piene con tempo di ritorno pluricentennale (che possono interessare anche interamente i terrazzi alluvionali più recenti).



La fascia di pertinenza fluviale su base geomorfologica comprende anche le aree interessabili dalla possibile divagazione dell'alveo; esse includono le aree potenzialmente interessabili dalla divagazione e mobilità dell'alveo (indicativamente l'orizzonte temporale di riferimento è pari a 50-60 anni), in assenza di interventi di difesa. L'individuazione di tali aree va effettuata sulla base della divagazione storica dell'alveo (e delle scarpate fluviali che lo delimitano) almeno negli ultimi 50-60 anni, confrontata con la situazione attuale dell'alveo. Nel caso in cui siano state eseguite analisi idrauliche è utile il confronto con le risultanze della modellazione (condizioni del moto e velocità della corrente in alveo).

Le aree interessate dalla divagazione storica dell'alveo sono individuate dalla visione/analisi della cartografia storica (I.G.M. 1:25.000 anni '40-'50 ed eventualmente I.G.M. fine'800), delle foto aeree (volo G.A.I. I.G.M. 1954-1955 e voli successivi), della cartografia catastale (delimitazione acque esenti da estimo) della Cartografia Tecnica disponibile (Comunale, Regionale, ....), nonché di eventuali rilievi topografici.

La fascia di pertinenza fluviale su base geomorfologica è individuata sulla base dei seguenti elementi e in generale dall'involuppo degli stessi:

- a) le aree ritenute inondabili, per piene eccezionali, individuate su base geomorfologica;
- b) le zone inondabili già individuate negli strumenti di pianificazione di settore redatti dalle Autorità di bacino/Distretto (es: PAI) per piene con tempo di ritorno fino ad almeno 200 anni;
- c) le zone interessate in passato da eventi di esondazione/allagamento (derivanti dall'Analisi Idrografica-Bibliografica-Storica);
- d) le aree interessabili dalla possibile divagazione dell'alveo, sopra descritte;
- e) le aree demaniali (acque esenti da estimo) come risultanti nelle cartografie catastali;
- f) la fascia di rispetto idraulica di cui al R.D. 523/1904, art 96, comma f) (10 m dal piede degli argini e loro accessori o dal ciglio di sponda dell'alveo).

### **A.3.1. RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI**

I risultati dell'Analisi geomorfologica sono riportati in una relazione, descrivendo:

- le cartografie-foto aeree consultate e i rilievi eseguiti;
- le caratteristiche e le forme che caratterizzano l'alveo e la zona di pertinenza fluviale, lo stato della scarpate fluviali, i terrazzi e le forme morfologiche individuati e nella zona di pertinenza fluviale;
- la divagazione storica dell'alveo e sua prevedibile evoluzione;
- gli elementi antropici principali e le loro caratteristiche, entro l'alveo e nella zona di pertinenza fluviale;
- la presenza di singolarità in alveo o presso le sponde presso i quali si possono propagare i fenomeni di esondazione;

- la descrizione delle aree potenzialmente inondabili individuate su base geomorfologica e della fascia di pertinenza fluviale su base geomorfologica.

La relazione che contiene la descrizione dell'Analisi geomorfologica è convenientemente corredata dalle seguenti cartografie in scala non inferiore a 1:10.000/1:5.000, in aggiunta a quelle richieste per l'Analisi idrografica-bibliografica-storica:

1. Cartografia nella quale riportare:

- le forme morfologiche-geomorfologiche individuate sulla piana inondabile ed altri elementi significativi della fascia di pertinenza fluviale (bordi di terrazzi principali, bordi di scarpate/terrazzi minori, direzioni preferenziali di scorrimento delle acque, alvei-meandri fluviali abbandonati, zone depresse o con ristagni di acqua nella piana inondabile, manufatti-opere e depositi antropici nella piana inondabile, laghi, ecc.);
- barre principali in alveo;
- tratti in incisione dell'alveo (e indicazione dei tratti con affioramento del substrato);
- erosioni di sponda;
- opere antropiche in alveo (briglie, traverse, sbarramenti, ponti, tombini, altri attraversamenti) o per la difesa da esondazioni (difese di sponda, argini, casse espansione, invasi laminazione, scolmatori);
- criticità o singolarità in alveo o presso le sponde presso i quali si possono propagare i fenomeni di esondazione;

2. Cartografia di sintesi, derivante dall'integrazione dell'analisi geomorfologica e bibliografica-storica, come indicato al precedente paragrafo A.3., con l'individuazione della fascia di pertinenza fluviale su base geomorfologica, all'interno della quale evidenziare anche le aree interessate dalla possibile divagazione dell'alveo.

## **A.4. ANALISI IDROLOGICA-IDRAULICA**

L'Analisi idrologico-idraulica, insieme con l'Analisi idrografica-bibliografica-storica e con l'Analisi geomorfologica, permette di valutare i tiranti/velocità di allagamento per vari tempi di ritorno, al fine di individuare le fasce a differente pericolosità idraulica, nonché definire gli interventi eventualmente necessari per mitigare la pericolosità idraulica.

Secondo la D.G.R. n. 53 del 27/01/2014 le previsioni vigenti sono soggette a limitazioni secondo quanto disposto nelle fasce a differente pericolosità idraulica, mentre l'inserimento di nuove previsioni edificatorie in ambiti agricoli è consentito solo all'esterno della fascia a bassa pericolosità idraulica.

L'analisi è da sviluppare per l'area di interesse e per un suo intorno significativo. L'intorno significativo è definito in funzione della situazione morfologica e di criticità dell'area di interesse rispetto all'evoluzione dei fenomeni di esondazione (la pericolosità da inondazione di un'area può essere determinata da flussi idrici nella piana inondabile provenienti da monte, dovuti ad esempio ad abbassamenti arginali a monte della zona di interesse, o a criticità presenti a valle, quali: restringimenti od ostruzioni).

I risultati delle verifiche idrauliche vanno confrontati con le analisi geomorfologiche, verificando la congruenza con la situazione morfologica, litologica e di copertura vegetale dell'alveo e delle aree golenali, nonché con le informazioni storiche e bibliografiche disponibili.

Tali dati e analisi (storici, geomorfologici, idraulici) devono essere tra loro mutuamente congruenti (es: lo sviluppo di velocità elevate nel modello anche con le portate più ridotte, oppure la presenza di risalti idraulici, deve essere congruente con le evidenze morfologiche; la presenza di alvei con forte mobilità verticale o laterale rende le verifiche idrauliche meno certe rispetto ad una schematizzazione geometricamente statica).

Una corretta analisi potrebbe richiedere momenti successivi di affinamento e confronto tra i vari dati raccolti.

L'analisi idrologica-idraulica contempla la redazione di un'analisi idrologica, rilievi topografici e verifiche idrauliche.

### **A.4.1. ANALISI IDROLOGICA**

Attraverso l'analisi idrologica si definiscono le portate ed eventualmente gli idrogrammi da considerare nelle analisi idrauliche.

E' opportuno che le analisi siano sviluppate per valutare le portate con tempi di ritorno pari 30 anni, 50 anni, 100 anni e 200 anni, al fine di avere una caratterizzazione idrologica completa, ovvero anche con altre portate qualora ritenute utili per una migliore analisi idraulica.

In primo luogo le stazioni utilizzabili sono quelle dell'ex Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale e quelle del Centro Funzionale della Protezione civile della Regione Marche (o equivalenti strutture tecniche regionali per stazioni ubicate in regioni limitrofe); l'utilizzo di dati ufficiali provenienti da stazioni gestite da altri Enti deve essere adeguatamente motivata e confrontata con quelli sopra indicati.

Qualora siano resi disponibili e ufficiali curve di possibilità pluviometrica, portate al colmo, idrogrammi, livelli marini per vari tempi di ritorno, da parte della Regione Marche (dalla Struttura tecnica regionale competente in materia di Difesa del suolo), o da parte delle Autorità di bacino o dalle Autorità di distretto, queste sono utilizzate per le successive analisi idrauliche.

#### **A.4.1.1. Metodi di stima delle portate**

La stima della portata di piena di assegnato rischio in un corso d'acqua dipende in generale dal tipo di dati idrologici disponibili.

Il caso più favorevole si ha, ovviamente, quando nella sezione di interesse sono disponibili valori di portata misurati per un periodo di osservazione sufficientemente lungo; in queste condizioni l'analisi statistica diretta di frequenza delle piene consente di determinare con buona affidabilità le stime richieste.

L'elaborazione statistica diretta nel caso in cui la dimensione campionaria sia notevolmente ridotta (indicativamente meno di 15-20 dati) è soggetta a incertezza e dovrà confrontata con altri metodi di analisi. Infatti, in genere non è consigliabile l'estensione dell'estrapolazione statistica a livello puntuale oltre 2-3 volte la dimensione campionaria.

Nel caso in cui non fosse possibile una elaborazione statistica diretta dei dati di portata le procedure utilizzabili sono sostanzialmente due:

- impiego di modelli di regionalizzazione del dato idrometrico, costruiti a partire dall'analisi statistica dell'informazione idrologica disponibile relativamente ad una porzione di territorio, "regione idrologica", ritenuta omogenea rispetto ai fenomeni di piena (generalmente applicabile a bacini con estensione superiore a 50 Km<sup>2</sup>);
- analisi statistica delle osservazioni pluviometriche relative al bacino idrografico sotteso dalla sezione di interesse, eventualmente con l'impiego di una metodologia di tipo regionale, e successivo impiego di modelli afflussi-deflussi.

Per le analisi statistiche è opportuno che l'adattamento delle serie empiriche di dati alla legge di probabilità adottata sia verificato con un test statistico adeguato (ed esempio il test di Pearson o il test di Kolgomorov-Smirnov).

Oltre a questi due tipi di procedure, sono riportati in letteratura numerosi metodi di tipo empirico; tali formulazioni possono essere impiegati solamente a scopo orientativo e per fornire ordini di grandezza dei fenomeni, ma di per sé non sono sufficienti a determinare le portate per la caratterizzazione delle aree inondabili.

Tra i vari modelli di trasformazione afflussi-deflussi disponibili in letteratura si ricordano quelli che trovano generale diffusione per la loro semplicità di applicazione:

- il metodo razionale, che rappresenta nel contesto italiano la formulazione sicuramente più utilizzata a livello operativo per la stima della portata al colmo, generalmente in bacini idrografici di piccola e media dimensione (< 50 Km<sup>2</sup>);
- il metodo proposto dal Soil Conservation Service americano [1972], nel seguito indicato come Metodo SCS-CN, valido soprattutto nel caso di bacini rurali di piccola dimensione (< 30-50 Km<sup>2</sup>);
- il metodo dell'invaso; tale metodo, utilizzabile per bacini urbani assimilabili a quelli di fognatura, non è consigliabile in assenza di confronti con altri metodi poiché caratterizzato da forte sensibilità a parametri affetti da possibile notevole incertezza.

Oltre ai metodi sopra elencati sono talvolta impiegati altri metodi più complessi che permettono una schematizzazione più rigorosa del processo afflussi-deflussi, come quelli più complessi fisicamente basati, data driven o basati sulla morfologia del bacino (es: GIUH, IUH topologici).

Nei casi di maggior criticità e importanza (in funzione dell'entità e tipologia delle previsioni urbanistiche ed edilizie), in particolare qualora l'applicazione dei metodi più semplificati porta a valori piuttosto conservativi, è consigliabile l'utilizzo dei modelli più complessi, purché siano disponibili i dati di input richiesti con sufficiente grado di accuratezza e purché sia possibile un loro pur minima taratura.

In ogni caso i metodi devono essere adeguatamente documentati in letteratura e le scelte dei parametri e le ipotesi di calcolo devono essere sempre chiaramente giustificate nelle relazioni idrologiche.

In genere è raccomandabile produrre stime delle portate con più metodi e considerare ai fini delle decisioni quelli più cautelativo o, comunque, valori ritenuti adeguatamente cautelativi in funzione della qualità e quantità dei dati disponibili e del grado di affinamento delle procedure di calcolo utilizzate. La scelta degli ietogrammi utilizzati e i valori portata scelti per la successiva analisi idraulica, in relazione a quanto sopra detto, dovranno essere adeguatamente motivati.

Qualora possibile si raccomanda di effettuare una "taratura" dei modelli utilizzati attraverso l'analisi delle serie storiche di precipitazione e portata disponibili; in tal caso anche se i dati di portata disponibili sono relativi ad un numero limitato di anni (da 2-3 anni a 5-10 anni, a seconda della significatività dei dati), sono convenientemente utilizzabili.

#### **A.4.1.2. Indicazioni operative sull'uso del metodo razionale**

Nel seguito vengono fornite alcune indicazioni sul metodo razionale, essendo la formulazione più utilizzata a livello operativo per la stima della portata al colmo, per la sua semplicità applicativa, in particolare nel caso di bacini di piccole e medie dimensioni (< 50 Km<sup>2</sup>), soprattutto qualora le informazioni idrologiche siano scarse o imprecise.

La sua applicazione richiede essenzialmente la stima di due grandezze:

- il tempo di corrivazione del bacino
- il coefficiente di deflusso (o, più correttamente, di afflusso alla rete)

Si consiglia, là dove possibile, di non utilizzare il solo metodo razionale per bacini di grande estensione, preferendo a questo metodi di regionalizzazione delle portate o, qualora disponibili, l'analisi statistica diretta sui valori di portata al colmo, ovvero di confrontare i risultati dell'applicazione del metodo razionale con quelli ottenuti con altri metodi.

Il tempo di corrivazione viene di regola valutato caso per caso con le formule esistenti in letteratura (es: Giandotti, Kirphic, Pasini, Ventura, etc.), tenendo conto del contesto per le quali sono state determinate. A titolo di confronto si potrà valutare il tempo di corrivazione anche considerando la lunghezza del percorso idraulico più lungo del bacino diviso per una velocità media di scorrimento superficiale che normalmente varia fra 1 e 2 m/s in relazione all'acclività e alla forma del bacino (i valori più alti si riscontrano per i bacini collinari e montani, più acclivi; valori maggiori o minori possono presentarsi in particolari tipologie di bacino per forma e per pendenze).

E' opportuno che, caso per caso, si proceda ad una valutazione del tempo di corrivazione secondo diversi approcci e si valuti quale valore sia più attendibile anche da riscontri empirici, basati sull'esperienza e con riscontri da osservazioni qualitative sul campo come sopra richiamate.

La scelta del tempo di corrivazione deve essere adeguatamente motivata.

Il coefficiente di deflusso va valutato caso per caso con le metodologie appropriate in considerazione della dimensione e conformazione del bacino stesso, della pendenza dei versanti, del tipo di copertura/uso del suolo, della litologia, della durata della pioggia critica e delle condizioni precedenti al verificarsi dell'evento, nonché del tempo di ritorno dell'evento. La stima del coefficiente di deflusso richiede, pertanto, una buona esperienza e preparazione, integrata ove possibile da dati e osservazioni su eventi di piena nella regione idrologica di interesse. Il valore del coefficiente di deflusso utilizzato nei calcoli deve essere adeguatamente motivato.

In linea generale per bacini di piccola e media estensione è opportuno fare riferimento all'uso del suolo e alla litologia, assegnando ad ogni tipologia/combinazione di tali parametri il valore più appropriato del coefficiente di deflusso valutando attraverso la media ponderata sull'area il coefficiente di deflusso globale.

In linea del tutto orientativa i valori dei coefficienti di deflusso possono variare tra 0,3-0,5 per bacini poco edificati con buona copertura vegetale a 0,5-0,9 per bacini maggiormente edificati o con bassa capacità di trattenere le piogge. In assenza di valutazioni di dettaglio si raccomanda l'utilizzo di valori cautelativi.

Sempre a solo livello orientativo ed esemplificativo sono riportati alcuni valori nelle seguenti tabelle A.1, A.2 e A.3.

Tabella A.1 (Coefficienti di deflusso raccomandati da American Society of Civil Engineers e da Pollution Control Federation, con riferimento prevalente ai bacini urbani; in “Direttiva sulla Piena di progetto da Assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica”, Autorità di Bacino del Fiume Po, 2001)

<b>Caratteristiche del bacino</b>	<b>Coefficiente di deflusso</b>
Superfici pavimentate o impermeabili (strade, aree coperte, ecc.)	0,70 – 0,95
Suoli sabbiosi a debole pendenza (2%)	0,05 – 0,10
Suoli sabbiosi a pendenza media (2 - 7%)	0,10 – 0,15
Suoli sabbiosi a pendenza elevata (7%)	0,15 – 0,20
Suoli argillosi a debole pendenza (2%)	0,13 – 0,17
Suoli argillosi a pendenza media (2 – 7%)	0,18 – 0,22
Suoli argillosi a pendenza elevata (7%)	0,25 – 0,35

Tabella A.2 (Coefficienti di deflusso raccomandati da Handbook of Applied Hydrology, Ven Te Chow, 1964; in “Direttiva sulla Piena di progetto da Assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica”, Autorità di Bacino del Fiume Po, 2001)

<b>Tipo di suolo</b>	<b>Coefficiente di deflusso</b>	
	<b>Uso del suolo</b>	
	<b>Coltivato</b>	<b>Bosco</b>
Suolo con infiltrazione elevata, normalmente sabbioso o ghiaioso	0,20	0,10
Suolo con infiltrazione media, senza lenti argillose, suoli limosi e simili	0,40	0,30
Suolo con infiltrazione bassa, suoli argillosi e suoli con lenti argillose vicine alla superficie, strati di suolo sottile al di sopra di roccia impermeabile	0,50	0,40

Tabella A.3. (Valori del coefficiente di deflusso del metodo razionale per diverse tipologie di uso del suolo, in funzione della pendenza  $i$  e del tempo di ritorno  $T$  della precipitazione, tratti dalla normativa tecnica della città di Austin (Texas, USA), in: Ven Te Chow et al. (1988) *Applied Hydrology*).

USO DEL SUOLO	TEMPO DI RITORNO T (ANNI)				
	10	25	50	100	500
<b><u>Aree urbanizzate</u></b>					
<i>Aree impermeabilizzate</i>					
Asfalto	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Calcestruzzo/tetti	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
<i>Aree verdi (parchi, prati, ecc.)</i>					
Area verde > 50% dell'area totale					
$i$ (0÷2%)	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
$i$ (2÷7%)	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
$i$ (> 7%)	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Area verde 50-75% dell'area totale					
$i$ (0÷2%)	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
$i$ (2÷7%)	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
$i$ (> 7%)	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Area verde > 75% dell'area totale					
$i$ (0÷2%)	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
$i$ (2÷7%)	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
$i$ (> 7%)	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
<b><u>Aree non urbanizzate</u></b>					
<i>Aree agricole</i>					
$i$ (0÷2%)	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
$i$ (2÷7%)	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
$i$ (> 7%)	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
<i>Pascoli</i>					
$i$ (0÷2%)	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
$i$ (2÷7%)	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
$i$ (> 7%)	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<i>Boschi</i>					
$i$ (0÷2%)	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
$i$ (2÷7%)	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
$i$ (> 7%)	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58



Qualora si utilizzi il metodo SCS-CN per stimare il coefficiente di deflusso si raccomanda di calcolare anche la portata di piena con la formulazione originale dello stesso metodo (considerando il tempo di ritardo previsto nel metodo) e confrontare il valore con quello ottenuto con il metodo razionale; nell'applicazione del metodo SCS-CN è raccomandabile la trasformazione da CN<sub>II</sub> a CN<sub>III</sub>, per tenere conto che gli eventi con elevato tempo di ritorno solitamente si verificano in condizioni di bacino sufficientemente imbibito.

Per la valutazione del CN possono essere utilizzati i dati sulla copertura del suolo derivati dal progetto europeo CORINE Land Cover.

#### **A.4.2. RILIEVO TOPOGRAFICO**

Lo schema geometrico del corso d'acqua per le successive verifiche idrauliche deve essere costruito mediante opportuni rilievi topografici locali, da realizzare tenendo conto, laddove presenti, di quelli eseguiti e resi disponibili dalla Regione Marche o dalle Autorità di Bacino/Autorità di Distretto.

Lo scopo del rilievo è quello di definire una serie di sezioni trasversali al corso d'acqua e individuare tra sezione e sezione quelle singolarità morfologiche che confinano e guidano lo sviluppo dei fenomeni di esondazione.

E' opportuno che il rilievo topografico sia redatto successivamente ad un sopralluogo sull'area da parte del tecnico che redige le verifiche idrauliche, al fine di valutare le singolarità e gli elementi significativi che si ritiene opportuno vengano rilevati, nonché per definire la posizione più significativa delle sezioni.

Nel caso in cui nell'area fossero già disponibili delle sezioni è opportuno effettuare preventivamente un primo calcolo idraulico preliminare per verificare l'utilità di sezioni di raffittimento.

Ai fini del rilievo e delle successive analisi idrauliche è opportuno tenere conto che:

- il tratto interessato dal rilievo va essere adeguatamente esteso a valle e monte del tratto di interesse in modo tale da considerare gli elementi che possono comunque influenzare l'analisi idraulica (restringimenti, opere trasversali, significative variazioni delle condizioni di scabrezza, ecc.) e che sono significativi ai fini della definizione delle condizioni al contorno per la modellazione del tratto da indagare; indicativamente è opportuno considerare un'estensione, per un tratto a monte dell'area interessata dall'intervento, di almeno 150 metri, e un tratto a valle di almeno 200 metri; tale estensione è comunque da valutare in funzione dell'importanza del corso d'acqua e delle situazioni al contorno;
- l'interasse delle sezioni è bene che non sia superiore a 10 volte la larghezza dell'alveo e comunque non superiore a 250 m;

- sono rilevate le sezioni dove si possono avere modifiche significative di portata (confluenze, scolmatori), delle pendenze del corso d'acqua, della conformazione dell'alveo e delle zone golenali, delle scabrezze, nonché per la presenza di opere antropiche quali argini, traverse-dighe o ponti;
- nel caso di strutture trasversali quali traverse o dighe è corretto rilevare una sezione sul coronamento dell'opera e una immediatamente a valle;
- nel caso di situazioni che determinano una contrazione della sezione di deflusso o di ponti, oltre alla sezione rilevata presso l'opera, è bene rilevare una sezione a valle nel punto dove termina l'effetto della contrazione e una a monte dove inizia l'effetto della contrazione; per i ponti è corretto considerare altre due sezioni, una poco a monte ed una poco a valle, rappresentative della condizione naturale del profilo (fondo alveo e golene);
- le sezioni trasversali devono essere perpendicolari alla direzione del flusso dell'acqua previsto nel canale principale e nelle golene;
- deve essere rilevata la quota del fondo alveo;
- il rilievo delle sezioni trasversali deve spingersi ad una quota sensibilmente superiore alla quota del profilo di piena e nel caso di alvei arginati il rilievo deve essere sviluppato almeno fino al piede esterno degli argini;
- nel caso dei ponti o tombini devono essere rilevate le quote di sottotrave/intradosso e la precisa geometria del manufatto (pile e spalle);
- tra una sezione e la successiva devono essere rilevate anche quelle caratteristiche morfologiche e di uso del suolo che influenzano lo sviluppo dei fenomeni di esondazione (scarpate, sponde, argini, limiti di zone con abbondante vegetazione, muri, perimetro edifici, aree depresse, ecc.), avendo particolare cura di rilevare anche le singolarità significative (es: abbassamenti localizzati di sponde o argini);
- durante il rilievo sono registrate le informazioni utili da riportare sulle singole sezioni: quota del pelo dell'acqua, limite dell'alveo attivo, litologia nell'alveo attivo, tipo e natura di eventuali manufatti antropici, tipologia vegetazione (es: area priva di vegetazione, vegetazione erbacea, arbustiva, arborea, area coltivata), punti significativi (es: limite terreno di riporto, strada, argine, ecc.).

I rilievi topografici sono adeguatamente riferiti planimetricamente al sistema di coordinate Gauss-Boaga (Datum Roma 40) ed altimetricamente alle quote ortometriche assolute (m. s.l.m.). Il rilievo è appoggiato a capisaldi definiti formalmente da Enti pubblici per i quali sia redatta ed acquisibile la relativa monografia.

Nel caso in cui i rilievi siano posti in corrispondenza o in prossimità di capisaldi apposti per il rilievi topografici dei corsi d'acqua eseguiti dalla Regione Marche o dalle Autorità di Bacino/Distretto, i nuovi rilievi sono appoggiati a tali capisaldi.

Deve essere valutata la congruenza tra le quote del rilievo e quelle della carta di appoggio.

Per la valutazione delle aree inondabili possono essere utilizzati i rilievi Lidar resi disponibili da Enti pubblici purché si valuti la congruenza tra i suddetti rilievi e i rilievi topografici effettuati e si tenga conto del grado di precisione del rilievo Lidar nella valutazione dei risultati delle analisi.

#### **A.4.3. VERIFICHE IDRAULICHE**

Le verifiche idrauliche possono essere sviluppate secondo le seguenti schematizzazioni:

- a) moto uniforme;
- b) moto permanente con schematizzazione monodimensionale (1-D);
- c) moto vario con schematizzazione quasi bidimensionale (quasi-2D);
- d) moto vario con schematizzazione bidimensionale (2 D).

L'utilizzo della schematizzazione idonea è valutato in funzione dell'importanza della trasformazione territoriale, della necessità di determinare le velocità dei flussi idrici, dello scenario di allagamento che può caratterizzare l'area di interesse (es: presenza o meno di fenomeni di invaso o deflussi all'esterno di aree arginate).

Le verifiche idrauliche sono di regola sviluppate almeno in ipotesi di moto permanente, analizzando un tratto di corso d'acqua significativo la cui estensione è valutata tenendo conto che:

- devono essere adeguatamente definite le condizioni al contorno di monte (particolarmente significative nel caso di corrente supercritica) e di valle (particolarmente significative nel caso di corrente subcritica);
- deve essere adeguatamente considerata l'influenza di opere o condizioni presenti a monte e valle del tratto di interesse; in particolare si deve tenere in debito conto l'influenza di fenomeni di rigurgito causati da particolari condizioni (confluenze, immissione in mare o invasi, restringimenti, ecc.).

L'utilizzo dello schema semplificato di moto uniforme, da giustificare adeguatamente, può essere applicato solo nei casi delle trasformazioni di minore importanza/consistenza e qualora non si vogliano determinate la velocità dei flussi idrici, esclusivamente quando il tronco di interesse:

- abbia geometria regolare;
- non contenga al suo interno, sul contorno e in un intorno significativo sezioni critiche costituite da salti o strettoie naturali o artificiali, oppure significative variazioni della pendenza del fondo, che provocano apprezzabili scostamenti dalle condizioni di moto uniforme; in caso di corrente subcritica l'eventuale strettoia o condizione che può determinare l'innalzamento del profilo di piena deve essere posta ad adeguata distanza dal tratto di interesse, pari ad almeno 2 volte quella determinata dall'innalzamento del profilo di piena rispetto alle condizioni indisturbate;



- non presenti condizioni di passaggio da corrente subcritica a supercritica o viceversa (confrontando per ogni sezioni la quota di stato critico con la quota di moto uniforme corrispondente alla pendenza locale del fondo);

Nel caso di previsioni urbanistiche/edilizie di particolare importanza dove è importante la valutazione di fenomeni specifici (valutazione capacità di laminazione, volumi esondabili, propagazione dei tiranti e valutazioni di dettaglio delle velocità di allagamento, ecc.), si farà riferimento a condizioni di moto vario, definendo un opportuno idrogramma di piena e, ove opportuno, l'utilizzo di modelli bidimensionali. L'idrogramma sarà sufficientemente cautelativo rispetto alla stima del volume totale della piena, anche indipendentemente dalla portata di colmo di piena.

Per la definizione dell'idrogramma di piena è importante, quando si ha la disponibilità di misure di livello/portata, il confronto e la taratura con eventi di piena eccezionali verificatisi in passato.

#### **A.4.3.1. Indicazioni operative per i calcoli idraulici**

##### A.4.3.1.1. Coefficienti di scabrezza

Per le verifiche occorre eseguire una corretta e cautelativa definizione dei parametri di scabrezza.

I valori di scabrezza sono dipendenti da vari fattori tra cui il materiale del fondo alveo-sponde-golene, la vegetazione, le forme di fondo, la forma della sezione e l'irregolarità delle sponde, l'andamento planimetrico dell'alveo, la presenza di ostruzioni o singolarità.

Per la scelta dei coefficienti di scabrezza ci si può riferire alle tabelle disponibili in letteratura (si veda, ad esempio, la seguente tabella A.4).

Tabella A.4. Valori del coefficiente di scabrezza “n” di Manning per corsi d’acqua naturali (da “*HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual*”, Versione 4.0, Marzo 2008)

<b>A. FIUMI NATURALI</b>	<b>Minimo</b>	<b>Normale</b>	<b>Massimo</b>
<b>1. CANALI PRINCIPALI</b>			
a. Puliti, dritti, senza salti di pendenza o buche profonde	0.025	0.030	0.033
b. Come sopra, ma con più ciottoli e vegetazione erbacea	0.030	0.035	0.040
c. Puliti, sinuosi, alcune buche e barre sommerse	0.033	0.040	0.045
d. Come sopra ma con un po' di vegetazione e ciottoli	0.035	0.045	0.050
e. Come sopra, poca acqua, con più scarpate e sezioni non partecipanti al deflusso	0.040	0.048	0.055
f. Come "d" ma con più ciottoli	0.045	0.050	0.060
g. Rami poco attivi, buche profonde	0.050	0.070	0.080
h. Rami molto vegetati, buche profonde, o canali di esondazione con grandi tronchi e cespugli	0.070	0.100	0.150
<b>2. PIANE INONDABILI</b>			
a. Pascoli senza cespugli			
1. Erba bassa	0.025	0.030	0.035
2. Erba alta	0.030	0.035	0.045
b. Aree coltivate			
1. Senza colture	0.020	0.030	0.040
2. Colture a file ben sviluppate	0.025	0.035	0.045
3. Colture di campo ben sviluppate	0.030	0.040	0.050
c. Cespugli			
1. Cespugli isolati, vegetazione erbacea fitta	0.035	0.050	0.070
2. Cespugli radi e alberi, in inverno	0.035	0.050	0.060
3. Cespugli radi e alberi, in estate	0.040	0.060	0.080
4. Cespugli da mediamente a molto fitti, in inverno	0.045	0.070	0.110
5. Cespugli da mediamente a molto fitti, in estate	0.070	0.100	0.160
d. Alberi			
1. Terreno pulito con ceppi d'albero, senza germogli	0.030	0.040	0.050
2. Come sopra ma con germogli ben sviluppati	0.050	0.060	0.080
3. Grandi tronchi, alcuni alberi caduti, flusso d'acqua sotto i rami	0.080	0.100	0.120
4. Come sopra, ma con flusso d'acqua interessante i rami	0.100	0.120	0.160
5. Saliceto denso, in estate	0.110	0.150	0.200
<b>3. FIUMI DI MONTAGNA</b>			
Senza vegetazione nel canale, sponde generalmente ripide, con alberi e cespugli sulle sponde sommerse			
a. Fondo con ghiaia, ciottoli e alcuni massi	0.030	0.040	0.050
b. Fondo con ciottoli con larghi blocchi	0.040	0.050	0.070

Può essere effettuata una stima dei coefficienti anche attraverso l'applicazione del metodo di Cowan (1956), il quale permette di valutare il peso dei vari fattori che possono influenzare il valore del coefficiente di scabrezza, confrontando i risultati con le tabelle disponibili in letteratura. L'applicazione del metodo può aiutare nella scelta dei coefficienti di scabrezza riportati nelle tabelle disponibili in letteratura considerando che per gli stessi viene proposto un intervallo di valori, talora piuttosto variabili.

Il metodo di Cowan calcola il valore del coefficiente di Manning ( $n$ ) con la seguente formula:

$$n = (n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5) * n_6$$

nella quale i parametri  $n_i$ , che descrivono le caratteristiche fisiche delle sezioni, sono quelli proposti da Chow (1959):

$n_1$  = stato fisico della sezione del fondo alveo (granulometria, forma e dimensione dei materiali costituenti il perimetro bagnato);

$n_2$  = irregolarità del fondo (depressioni o accumuli di detriti o isole di vegetazione);

$n_3$  = variazione della sezione (forma e dimensione);

$n_4$  = ostacoli e irregolarità concentrate (estensione, ingombro, forma, quantità e disposizione);

$n_5$  = vegetazione delle zone golenali (densità, tipo, distribuzione, sviluppo e stadio stagionale);

$n_6$  = tortuosità (meandri).

I valori per i vari coefficienti sono riportati nella successiva tabella A.5

Tabella A.5. Valori per i vari coefficienti presenti nella formula di Cowan

Condizioni dell'alveo		Valori	
Materiale costituente l'alveo	Terra	n <sub>1</sub>	0.020
	Roccia		0.025
	Ghiaia fine		0.024
	Ghiaia grossolana		0.028
Irregolarità della superficie della sezione	Trascurabile	n <sub>2</sub>	0.000
	Bassa		0.005
	Moderata		0.010
	Elevata		0.020
Variazione della forma e della dimensione della sezione trasversale	Graduale	n <sub>3</sub>	0.000
	Variazione occasionalmente		0.005
	Variazione frequente		0.010-0.015
Effetto relativo di ostruzioni	Trascurabile	n <sub>4</sub>	0.000
	Modesto		0.010-0.015
	Apprezzabile		0.020-0.030
	Elevato		0.040-0.060
Effetto della vegetazione	Basso	n <sub>5</sub>	0.005-0.010
	Medio		0.010-0.025
	Alto		0.025-0.050
	Molto alto		0.050-0.100
Grado di sinuosità dell'alveo	Modesto	n <sub>6</sub>	1.000
	Apprezzabile		1.150
	Elevato		1.300

Inoltre è opportuno un confronto con pubblicazioni nelle quali è riportata la valutazione dei coefficienti di scabrezza con riferimento a casi di alvei o piane inondabili reali le cui caratteristiche sono adeguatamente descritte (es: *Roughness Characteristics of Natural Channels*, U.S. Geological Survey Water-supply Paper 1849, 1987; *Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains*, U. S. Geological Survey Water-supply Paper 2339, 1984).

In caso di incertezza, soprattutto dove una variazione dei coefficienti comporta variazioni significative ai risultati delle verifiche è opportuno adottare valori cautelativi.

Ogni qual volta ciò sia possibile, e se l'impegno della verifica lo giustifica, è opportuno eseguire una taratura dei parametri di scabrezza ricorrendo alle informazioni idrometriche disponibili per il corso d'acqua.

In definitiva una completa caratterizzazione dei coefficienti di scabrezza dovrebbe considerare l'esperienza, il confronto con situazioni simili, la taratura sulla base di eventi noti, un'analisi di sensibilità dei coefficienti.

#### A.4.3.1.2. Opere di difesa dalle inondazioni e attraversamenti

Nel caso di opere di difesa dai fenomeni di esondazione, quali opere arginali, deve essere effettuata una valutazione almeno qualitativa del loro dimensionamento e stato di manutenzione-conservazione e non potranno essere considerate ai fini del contenimento-tenuta dei fenomeni di esondazione, in assenza di una analisi di dettaglio, qualora lo stato di manutenzione non appaia buono: presenza di danneggiamenti evidenti, cedimenti, vegetazione non controllata sulle opere e difficoltà della loro ispezione, ecc.

In ogni caso, sempre rimanendo la necessità di una valutazione del loro stato di manutenzione, le strutture arginali possono essere riconosciute formalmente quali valide opere idrauliche in termini pianificatori quando rientrano in tratti/opere formalmente classificate in seconda o in terza categoria ai sensi del R.D. 523/1904 (le informazioni potranno essere ricavate presso l'Autorità idraulica competente o presso la Struttura tecnica regionale competente in materia di Difesa del suolo), ovvero quando siano disponibili i certificati di collaudo o regolare esecuzione delle opere, ovvero qualora l'Autorità idraulica competente attesta la presenza del Piano di controllo e manutenzione e la sua applicazione.

Nei casi di maggior significatività delle trasformazioni territoriali le valutazioni sullo stato di manutenzione delle opere e delle arginature sono integrate con adeguate verifiche geotecniche (erosione, stabilità, saturabilità, sifonamento).

Nel caso di argini in terra è opportuno individuare una fascia di rispetto, misurata dal piede esterno dell'argine, dove si potrebbero risentire i maggiori effetti dinamici causati da eventuali cedimenti/collapsi degli argini.

E' opportuno che tale fascia non sia interessata da previsioni insediative (comunque vietate all'interno di una distanza di 10 m dal piede esterno degli argini, ai sensi dell'art. 96, comma f) del R.D. 523/1904).



A titolo esemplificativo, per l'individuazione di tale fascia si riportano le seguenti formulazioni (in analogia alla "Direttiva inerente le verifiche idrauliche e gli accorgimenti tecnici da adottare per conseguire gli obiettivi di sicurezza idraulica definiti dal Piano stralcio per il rischio idrogeologico ai sensi degli artt. 2 ter, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11 del Piano, Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli", 2003):

$q_{\max} = 0,15 * \left( \frac{Q_{\max}}{L_b} \right)^{0,5} * P^{1,25}$	<p><math>q_{\max}</math> (m<sup>2</sup>/s) = portata massima specifica in uscita dalla breccia (per unità di lunghezza della breccia)</p> <p><math>Q_{\max}</math> (m<sup>3</sup>/s) = portata in alveo, assunta pari alla portata con Tr = 50 anni</p> <p><math>L_b</math> (m) = larghezza della breccia, pari a 2/3 della larghezza dell'alveo (misurata tra i due spigoli interni dei rilevati arginali)</p> <p><math>P</math> (m) = profondità della breccia, assunta pari all'altezza dell'argine considerato</p>
$d = \frac{\left( \frac{q_{\max}}{i_r} - 1 \right)}{2 * \operatorname{tg} \left( \frac{\alpha}{2} \right)} * L_b$	<p><math>d</math> (m) = distanza del fronte della breccia dal piede esterno degli argini;</p> <p><math>\alpha</math> (°) = angolo di dispersione della portata di breccia (in genere assunto pari a 90°; potrà essere variato fino a 120° per i tratti in esterno curva e fino a 60° per i tratti in interno curva)</p> <p><math>i_r</math> (m<sup>2</sup>/s) = indice di rischio, prodotto tra la velocità e il tirante, assunto pari a 0,35 m<sup>2</sup>/s</p>

Nel caso della presenza di ponti/attraversamenti deve essere valutata la possibilità di una riduzione della sezioni utile di deflusso a causa della presenza di detriti vegetali. La valutazione dovrà tenere conto dello stato dell'alveo a monte, delle caratteristiche del ponte/attraversamento e delle osservazioni eventualmente disponibili rispetto ad eventi di piena passati; l'effetto dell'accumulo di detrito viene considerato attraverso la riduzione della sezione utile, presso le pile o l'impalcato (si veda anche "Potential Drift Accumulation at Bridges", Timothy H. Diehl, Pubblicazione No. FHWA-RD-97-028, Aprile 1997). Tale aspetto dovrà essere accuratamente considerato nel caso in cui per non meno di 1/3 della luce il franco sia minore di 0,5 volte l'altezza cinetica della corrente (o comunque sia inferiore a 1,0 m).

Nel caso in cui il modello idraulico mostri lo sviluppo di velocità elevate della corrente (> 2,0 m/s) deve essere effettuata una valutazione della stabilità delle sponde e delle opere di difesa (argini, scogliere, ecc.) rispetto agli sforzi di trazione ai quali sono soggette, considerando i materiali dai quali sono costituite e la presenza di vegetazione.

#### A.4.3.1.3. Confluenza fluviali e immissione a mare

Nel caso in cui abbia influenza la presenza di una confluenza fluviale occorre sostanzialmente distinguere due casi:

1. la confluenza avviene tra due corsi d'acqua con bacini di caratteristiche idrologiche confrontabili (tempo di corrivazione e superficie);
2. la confluenza avviene tra un corso d'acqua principale e un'affluente con caratteristiche idrologiche significativamente diverse.

Nel primo caso è opportuno che le verifiche siano condotte valutando le portata a monte e a valle della confluenza: lo studio idrologico per la determinazione di un portata di associato tempo di ritorno va sviluppato a monte della confluenza valutando separatamente i due corsi d'acqua mentre a valle la portata va di norma calcolata considerando un unico bacino individuato dalla fusione dei due precedenti. Quindi il modello di moto permanente va sviluppato con portata variabile tra le sezioni a monte e a valle della confluenza riferendosi ai medesimi tempi di ritorno.

Nel secondo caso, è opportuno che le verifiche siano condotte nella condizione più gravosa fra le seguenti:

- portata del corso d'acqua minore con tempo di ritorno di 200 anni (100 anni per bacini sottesi inferiori o uguale a 25 km<sup>2</sup>) e contemporanea portata del corso d'acqua maggiore con tempo di ritorno di 5 anni.
- portata del corso d'acqua maggiore con tempo di ritorno di 200 anni (100 anni per bacini sottesi inferiori o uguale a 25 km<sup>2</sup>) e contemporanea portata del corso d'acqua minore con tempo di ritorno di 5 anni.

Nel caso in cui abbia influenza la presenza di foci a mare, è opportuno che le verifiche siano condotte nella condizione più gravosa fra le seguenti:

- portata da monte con tempo di ritorno di 200 anni (100 anni per bacini sottesi inferiori o uguale a 25 km<sup>2</sup>) e livello marino statico equivalente (comprensivo di tutti gli effetti dinamici di tipo meteorologico e mareografico) pari alla media dei massimi annuali;
- portata di monte con tempo di ritorno di 100 anni (50 anni per bacini sottesi inferiori o uguale a 25 km<sup>2</sup>) e livello marino statico equivalente (comprensivo di tutti gli effetti dinamici di tipo meteorologico e mareografico) di tempo di ritorno di 10 anni;
- portata di monte con tempo di ritorno di 30 anni e livello marino statico equivalente (comprensivo di tutti gli effetti dinamici di tipo meteorologico e mareografico) di tempo di ritorno di 100 anni.

Per la valutazione dei livelli marini di assegnato tempo di ritorno si può fare riferimento ai dati della rete R.O.N. (rete ondometrica nazionale), disponibili anche per via telematica e ai dati delle osservazioni mareografiche ufficiali disponibili (Servizio Mareografico Nazionale, Rete mareografica nazionale). I dati utilizzati per le analisi e la fonte degli stessi devono essere riportati nella relazione.

#### **A.4.4. RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI**

In generale le analisi, valutazioni e risultati delle analisi idrologiche-idrauliche devono essere presentati nelle relazioni in maniera chiara ed esauriente, motivando le scelte effettuate.

Per le Analisi idrologiche in relazione sono specificati e descritti con completezza i metodi di calcolo utilizzati, le fonti bibliografiche dei metodi, le fonti dei dati utilizzati.

Sono riportati tutti i valori delle grandezze utilizzate nei calcoli (es: precipitazioni) e i risultati parziali di calcolo, in modo da poter permettere il puntuale controllo dei calcoli eseguiti e dei valori di precipitazione e portata ottenuti. Nel caso di utilizzo di codici di calcolo e software specialistico vanno fornite le specifiche dei prodotti impiegati.

Sono indicati i valori di portata al colmo utilizzati per i calcoli, motivandone la scelta tra i vari metodi di calcolo adottati. Nel caso in cui siano calcolati gli idrogrammi di piena essi sono forniti in forma grafica e tabellare.

La relazione è opportunamente corredata da una corografia con: la delimitazione del bacino idrografico alla sezione di interesse, la rappresentazione del reticolo idrografico principale e degli affluenti prossimi all'area di interesse, le stazioni idrometriche e meteo-climatiche presenti nel bacino nel bacino o comunque quelle dalle quali sono stati ripresi i dati utilizzati per i calcoli, le stazioni di misura delle portate presenti nel bacino.

Il rilievo topografico è accompagnato da una relazione dove sono indicate le modalità di svolgimento dello stesso, i capisaldi di appoggio (allegando la monografia dei capisaldi), la precisione del rilievo, le date del rilievo, eventuali problematiche emerse durante lo stesso.

Nella restituzione delle sezioni sono indicati la data del rilievo, la quota del livello dell'acqua al momento del rilievo, il limite dell'alveo attivo, la litologia dell'alveo attivo (es: massi, ciottoli, ghiaia, sabbia, limo-argilla), la presenza di manufatti (specificandone tipo e natura: cemento, gabbioni, muratura, pietra), la tipologia della vegetazione nei vari tratti (es: vegetazione erbacea, arbustiva, arborea, area coltivata) e l'indicazione di ulteriori punti significativi (es: limite terreno di riporto, strada, argine, ecc.); tali dati sono utili per una per una facile individuazione in campagna delle sezioni rilevate e per una corretta definizione dei coefficienti di scabrezza.

Nel caso di uso di rilievo Lidar in relazione sono esplicitate le caratteristiche dello stesso: Ente proprietario, data esecuzione, ampiezza maglia rilievo e restituzione, accuratezza altimetrica e planimetrica; deve essere allegata l'impegnativa/autorizzazione per l'uso dei dati o gli estremi della stessa.

Alla documentazione prodotta è allegata una cartografia e il file dxf, georeferenziato in coordinate Gauss Boaga, fuso est (Datum Roma 40), con l'ubicazione dei punti rilevati e la traccia delle sezioni, dei capisaldi di appoggio.

Per le Analisi idrauliche nella relazione sono specificati i metodi di calcolo e i software utilizzati, nonché i valori dei dati utilizzati nelle verifiche idrauliche, motivandone la loro scelta, in modo da poter permettere il puntuale controllo dei calcoli eseguiti: geometrie, condizioni al contorno, scabrezze, coefficienti di espansione e contrazione, coefficienti per stramazzi, ecc.

Verranno inoltre descritte le opere idrauliche presenti nel tratto interessato dalla analisi idrauliche, le loro caratteristiche e il loro stato, secondo quanto indicato al paragrafo A.4.3.1.2, nonché le verifiche effettuate sulle opere esistenti e quelle di progetto (ove sono previste opere per la mitigazione della pericolosità da inondazione).

Nel caso di previsioni di interventi di difesa idraulica le verifiche in genere sono condotte con riferimento allo stato attuale e allo stato di progetto, al fine di evidenziare le modifiche tra le due situazioni (perimetri delle aree inondabili, livelli-tiranti, velocità, volumi), il raggiungimento dei obiettivi di compatibilità richiesti per l'area di interesse e il non aggravamento delle condizioni di rischio idraulico esistente per altre aree.

Per le verifiche idrauliche i risultati devono essere riportati sia in forma grafica (sezioni, rappresentando il livello raggiunto in ogni sezione trasversale usata nel modello per ogni dato tempo di ritorno; profili longitudinali), sia in forma tabellare (con le principali grandezze risultati dai calcoli). Vanno sempre riportare le indicazioni relative ai livelli di piena, numero di Froude, velocità medie (o distinte sui vari tratti delle sezioni), quota fondo alveo, quota argini ove presenti. Nel caso di utilizzo di modelli più complessi (moto vario, bidimensionali) sono riportati opportuni elaborati che permettano di capire l'evoluzione dell'evento di inondazione, con particolare riguardo alla situazione più critica (in termini di tiranti e velocità).

Alle relazione è allegata apposita cartografia con l'ubicazione delle sezioni utilizzate nei calcoli e la delimitazione delle aree allagabili per vari tempi di ritorno, nonché dei tiranti e delle velocità dei flussi idrici, ove determinate, con riferimento allo stato attuale e di progetto (ove sono previsti interventi di difesa idraulica).

## **A.5. SINTESI DELLE ANALISI**

Nel caso della Verifica Completa prevista dalla D.G.R. n. 53 del 27/01/2014 la relazione, oltre a quanto indicato nei paragrafi A.2.3, A.3.1 e A.4.4, contiene una descrizione della sintesi ottenuta dal confronto delle analisi redatte (storica-bibliografica, geomorfologica, idrologico-idraulica) al fine di individuare le aree inondabili, con la delimitazione delle fasce a differente pericolosità idraulica. Si ricorda che l'individuazione delle aree inondabili deve derivare da una sintesi ragionata delle analisi storica-bibliografica, geomorfologica, idrologico-idraulica, che devono essere tra loro mutuamente congruenti e l'Analisi idrologico-idraulica da sola non è prevalente sulle altre.

Inoltre, nella relazione sono utilmente descritti:

- le principali criticità riscontrate nel tratto;
- l'individuazione delle aree interessabili dalla possibile divagazione dell'alveo, ove presenti (e le valutazioni effettuate per la sua individuazione);
- l'individuazione della fascia di rispetto dei corpi arginali, ove presenti (e le modalità utilizzate per la sua individuazione);
- l'individuazione delle aree inondabili con la delimitazione delle fasce a differente pericolosità idraulica e delle aree nelle quali non è consentita l'edificazione, secondo quanto indicato nella D.G.R. n. 53 del 27/01/2014;
- l'individuazione delle aree dove non sono consigliate le edificazioni, secondo le opportune cautele previste in letteratura (aree in fascia di pericolosità elevata con tiranti e/o velocità significative);
- gli interventi eventualmente previsti per mitigare la pericolosità idraulica, al fine di poter rendere compatibile l'edificazione, e le differenze tra la condizione ante operam e post operam, evidenziando che gli interventi non determinano un incremento delle condizioni di rischio per altre aree;
- indicazione preliminare dei costi di controllo-monitoraggio e manutenzione delle opere previste;
- la compatibilità degli interventi previsti e le misure di mitigazione edilizio-costruttivo adottate, secondo quanto prescritto dalla D.G.R. n. 53 del 27/01/2014;

Oltre a quanto già indicato nei paragrafi A.2.3, A.3.1 e A.4.4 è utilmente redatta una cartografia di sintesi in scala non inferiore a 1:5.000-1:10.000 nella quale riportare:

- le fasce a differente pericolosità idraulica;
- le aree interessabili dalla possibile divagazione dell'alveo (ove non è consentita l'edificazione);
- le fasce di rispetto dei corpi arginali (ove non è consentita l'edificazione);
- le eventuali ulteriori aree ove è sconsigliata l'edificazione;
- le opere esistenti nel tratto considerate quale elementi di mitigazione della pericolosità idraulica.

Nel caso della previsione di opere di mitigazione della pericolosità idraulica la cartografia andrà redatta per la situazione post-operam, riportando le nuove opere previste.

## **A.6. BIBLIOGRAFIA**

- D.G.R. 2948 del 6 ottobre 2009, Regione Veneto
- D.G.R. 8/1566 del 22/12/2005 e D.G.R. 8/7374 del 28/05/2008, Regione Lombardia
- Autorità di bacino regionale delle Marche. Bozza Direttiva per “Modalità e procedure relative all’esecuzione degli studi idrologici e delle verifiche idrauliche”, presentata nelle sedute del Comitato Tecnico del 16/06/2005 e del 04/10/2005
- Allegato A alle Norme di Attuazione del PAI dei bacini di rilievo regionale “Indirizzi d’uso del territorio per la salvaguardia dai fenomeni di esondazione”, Supplemento n. 5 al BUR n. 15 del 13/02/2004
- Direttiva inerente le verifiche idrauliche e gli accorgimenti tecnici da adottare per conseguire gli obiettivi di sicurezza idraulica definiti dal Piano stralcio per il rischio idrogeologico ai sensi degli artt. 2 ter, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11 del Piano, Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli, adottata dal C.I. con Delibera n. 3/2 del 20/10/2003
- Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica, Autorità di Bacino del Fiume Po, Adottata con delibera del C.I. n. 18 del 26/04/2001
- Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all’interno delle fasce “A” e “B”, Autorità di Bacino del Fiume Po, Adottata con delibera del C.I. n. 2 del 11/05/1999, aggiornata con delibera del C.I. n. 10 del 05/04/2006
- Circolare Regione Marche n. 14 del 28/08/1990. Indirizzi e criteri per l’effettuazione di indagini geologiche in sede di adeguamento degli strumenti urbanistici al PPAR (art. 9 – sottosistema geologico-geomorfologico) e alla legge regionale n. 33/84, BUR n. 120 del 24/09/1990
- Proposta metodologica per l’aggiornamento delle mappe di pericolosità e di rischio. Attuazione della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi da alluvioni (D.Lgs n. 49/2010), IPRA, Linee Guida n. 82/2012, luglio 2013
- Experimental approach to determine flood hazard criteria in urban areas, B. Russo, M. Gomez, F. Macchione, 12 International Conference on Urban Drainage, Porto Alegre/Brazil, settembre 2011
- Manuale tecnico - operativo per la valutazione ed il monitoraggio dello stato morfologico dei corsi d’acqua, versione 1, Massimo Rinaldi, Nicola Surian, Francesco Comiti, Martina Bussettini, ISPRA, marzo 2011
- Manuale tecnico - operativo per la valutazione ed il monitoraggio dello stato morfologico dei corsi d’acqua, versione 0, Massimo Rinaldi, Nicola Surian, Francesco Comiti, Martina Bussettini, ISPRA, 11/03/2010

- Appropriate criteria for the safety and stability of people in stormwater design, Thomas D. Shand, Ronald J. Cox, Grantley Smith, Mathew Blacka, National Conference of the Stormwater Industry Association, Sidney, novembre 2010
- Linee guida per l'analisi geomorfologica degli alvei fluviali e delle loro tendenze evolutive, Nicola Surian, Massimo Rinaldi, Luisa Pellegrini, CLEUP, dicembre 2009
- HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual, Versione 4.0, Marzo 2008
- Flood Risk to People, Phase 2, Guidance Document, HR Wallingford Ltd – DEFRA (Department for Environment, Food e Rural Affairs; Flood Management Division; London), marzo 2006
- Flood Risk to People, Phase 2, The Flood Risk to People Methodology, HR Wallingford Ltd – DEFRA (Department for Environment, Food e Rural Affairs; Flood Management Division; London), marzo 2006
- Highway Hydrology, Hydraulic Design Series N° 2, Second Edition, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Pubbl. n. FHWA-NHI-02-001, HEC-20, Ottobre 2002
- Stream stability at Highway Structures, Third Edition, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Pubbl. n. FHWA NHI 01-002, HEC-20, Marzo 2001
- HEC-HMS Hydrologic Modeling System, Technical Reference Manual, Marzo 2000
- Potential Drift Accumulation at Bridges, Timothy H. Diehl, Federal Highway Administration, Pubbl. n. FHWA-RD-97-028, Aprile 1997
- Applied hydrology, Ven Te Chow, David R. Maidment, Larry W. Mays, McGraw Hill, 1988
- Roughness Characteristics of Natural Channels, U.S. Geological Survey Water-supply Paper 1849, 1987
- Urban Hydrology for Small Watersheds, Natural Resource Conservation Service-U.S.D.A., TR-55, Giugno 1986
- Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains, U. S. Geological Survey Water-supply Paper 2339, 1984
- Guide for Selecting Roughness Coefficients “n” values for Channels, Soil Conservation Service – U.S.D.A., Guy B. Fasken, Dicembre 1963