



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

# **LINEE GUIDA E INDIRIZZI OPERATIVI PER LA MODELLAZIONE IDRAULICA DEI FENOMENI DI ALLAGAMENTO NEI BACINI URBANI RESIDUI**

*(Articolo 8 comma 5bis delle NTA del PAI)*

## **Relazione Metodologica**

Allegato alla Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 1 del 04.02.2020



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

## Sommario

PREMESSA .....	4
1 Introduzione .....	4
2 Riferimenti Normativi .....	6
3 Metodologia .....	10
3.1 Identificazione delle fasi di studio .....	10
3.1.1 Modello idrologico.....	12
3.1.2 Modello Idraulico 2D .....	13
3.2 Potenzialità del modello 2D implementato in Hec-Ras.....	15
4 Modello idrologico per l'analisi del deflusso .....	19
4.1 Aspetti generali.....	19
4.2 Bacino e Reticolo idrografico di riferimento .....	21
4.3 Determinazione degli ietogrammi di progetto.....	22
4.3.1 Durata critica .....	23
4.3.2 Ietogramma tipo Chicago .....	25
4.4 Stima delle perdite di bacino. Attribuzione del parametro CN .....	26
4.5 Metodo di calcolo dello ietogramma di precipitazione netta .....	32
5 Modello idraulico di allagamento dell'area urbana .....	34
5.1 Uso di modelli idraulici 2D in ambito urbano.....	34
5.2 Predisposizione dei dati plano-altimetrici per l'analisi idraulica .....	35
5.3 Studio dell'allagamento in area urbana .....	38



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

5.3.1	Delimitazione dei domini 2D e loro condizioni al contorno .....	39
5.3.2	Attribuzione della scabrezza (Manning).....	41
6	Bibliografia .....	42



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

## **PREMESSA**

Il presente lavoro si inserisce nelle attività previste nell'accordo di collaborazione del Marzo 2014 tra l'Agenzia di Distretto Idrografico della Sardegna (ARDIS) e il Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura (DICAAR) dell'Università di Cagliari per la predisposizione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) come supporto scientifico relativo all'applicazione dei modelli bidimensionali in ambito urbano ai sensi dell'art.8 comma 5bis delle Norme di Attuazione del PAI introdotto con la deliberazione del Comitato Istituzionale n. 1 del 27/02/2018.

## **1 Introduzione**

Negli ultimi decenni si assiste ad una sempre maggiore consapevolezza del problema della corretta gestione del rischio di alluvione e della necessità di prevedere gli effetti degli eventi idrologici estremi sul territorio.

La gestione del rischio idraulico nei territori limitrofi alla rete idrografica principale è stata già da tempo oggetto di studi e pianificazione di settore, mentre solo più recentemente si stanno sviluppando strumenti modellistici per la definizione nelle zone a rischio in ambito urbano, non direttamente interessate dalla rete idrografica, cosiddetti bacini urbani residui. Assume, quindi, sempre maggiore interesse, anche in ambito scientifico, la predisposizione di criteri e strumenti per la modellazione del deflusso a seguito di eventi pluviometrici intensi in ambito urbano (Sundermann, Schelske, & Hausmann, 2014) (Sanders, 2017) .

Nello studio dei deflussi di piena nel reticolo fluviale, la corrente idrica è spesso rappresentabile mediante un modello idraulico lineare (1D) nel quale in corrispondenza delle sezioni idrauliche



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

trasversali vengono determinati la velocità media e il tirante idrico, secondo le consuete ipotesi comuni alle correnti permanenti o gradualmente variate. Inoltre, alcuni particolari casi di non linearità della corrente sono risolti mediante procedure specifiche che interessano tronchi fluviali di limitata lunghezza spesso in corrispondenza di strutture interferenti (tipicamente: passaggio sotto le pile di un ponte, salti di fondo, discontinuità nelle pareti per situazioni di imbocco, sbocco etc). Lo scenario che normalmente si considera in ambito fluviale è caratterizzato da portate considerevoli; grandezze stimate in relazione all'accadimento di fenomeni di piena che hanno tempi di ritorno in genere superiori ai 50 anni, con effetti distribuiti in vaste aree che spesso sono interessate prevalentemente da attività agricole e sono scarsamente abitate.

In ambito urbano il problema è più complesso (Fewtrell, T.J. et al. 2011, Gallegos, H.A. et al. 2009, Kaushik, C., 2006, Mark, O. et al. 2004). Un primo elemento di complessità può riguardare la definizione degli eventi di riferimento in quanto le reti di drenaggio urbane (Keifer, C., & Chu, H. 1957, Spry, R., and Zhang, S., 2006) sono normalmente dimensionate per tempi di ritorno decisamente inferiori: gli allagamenti in ambito urbano sono quindi fenomeni che possono essere relativamente frequenti, spesso di sviluppo assai rapido nel tempo e, anche nei casi meno gravosi, sono comunque sufficienti ad impedire la circolazione nelle strade. Tali situazioni di criticità possono causare pesanti ripercussioni sugli edifici residenziali, sulle attività commerciali, sui servizi e le piccole attività artigianali, ai quali conseguono spesso danni significativi.

Un secondo elemento di complessità riguarda la diversa scala spaziale in quanto, rispetto agli allagamenti originati dalle piene di elementi idrici appartenenti alla rete idrografica principale, le zone urbanizzate possono essere limitate, frammentate e con rapidi cambiamenti di battenti idrici e velocità, spesso senza potersi individuare una direzione prevalente di propagazione del flusso in quanto questo è articolato in più direttrici e legato alla presenza dei numerosi ostacoli e all'andamento altimetrico della viabilità nel territorio urbanizzato (Paz, A.R et al. 2016). Da questo deriva l'esigenza di ricorrere a modelli idraulici più complessi in grado di garantire una adeguata



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

modellazione idrodinamica del fenomeno di allagamento in ambito urbano. Inoltre l'adeguata conoscenza delle grandezze idrauliche più significative, in particolare i tiranti e le velocità della corrente, è essenziale per valutare il livello di rischio al quale è potenzialmente soggetta la popolazione interessata dal deflusso delle acque.

In definitiva, l'esigenza di studiare adeguatamente i fenomeni di allagamento in ambito urbano richiede modelli di simulazione più complessi e sistemi di supporto alle decisioni finalizzati a fornire un quadro di interventi per la protezione delle persone e per limitare i danni agli edifici e al territorio (Djordjevic, S., et al. 2005, Gharbi, M., et al. 2016, Neelz, S., Pender, G., 2013, Schubert, J.E., and Sanders, B.F., 2012, Schubert, J.E., et al. 2008). Questa esigenza conduce spesso alla necessità di integrare più approcci modellistici per la conoscenza del territorio (Vieux, Baxter E., 2016, Zhang, W., and Cundy, T. W., 1989, Zhou, F. et al. 2013) per la caratterizzazione idrologica degli eventi e di modellazione idraulica del deflusso per le diverse forme di corrente che si possono realizzare (correnti intubate e correnti a pelo libero) e indicazioni normative in relazione al livello di pericolosità che determina l'attivazione di procedure di salvaguardia del territorio e di protezione civile (Sanders, 2017).

## **2 Riferimenti Normativi**

Prendendo atto delle complessità sopra richiamate per la definizione del rischio idraulico nelle aree urbanizzate, con la deliberazione del Comitato Istituzionale n. 1 del 27/02/2018 sono state modificate ed integrate le norme di attuazione del PAI (NTA). L'art.8 comma 5bis recita testualmente: *“Per le parti del territorio comunale non direttamente afferenti ad elementi idrici appartenenti al reticolo idrografico regionale e per le quali si verificano entrambe le condizioni di*



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

*bacini di superficie superiore a 0,20 kmq e portate cinquantennali superiori a 5 mc/s, i Comuni, qualora si siano manifestate situazioni di diffuso e significativo allagamento per scorrimento superficiale delle acque meteoriche, possono redigere appositi studi dei bacini urbani, finalizzati alla descrizione del fenomeno dello scorrimento superficiale causato dalla impermeabilizzazione dei suoli, alla perimetrazione di eventuali aree urbane di pericolosità e alla valutazione del tirante idrico (h) e della velocità della corrente (v) determinati, mediante adeguata analisi modellistica, tenendo conto della presenza dell'edificato esistente, dei sistemi di drenaggio urbano e dei volumi idrici conseguenti agli eventi meteorici con tempi di ritorno specificati al comma seguente”.*

L'intento del suddetto comma è quello di rispondere all'esigenza di studiare in maniera più dettagliata i *bacini residui* ricadenti in ambito urbano, ossia le parti del territorio comunale non direttamente afferenti ad elementi idrici appartenenti al reticolo idrografico regionale ed, in particolare, studiare i fenomeni di allagamento, dovuti anche alle criticità dei sistemi di drenaggio urbano, per l'accadimento di fenomeni con i tempi di ritorno (Tr) di 50, 100, 200 e 500 anni previsti nel PAI.

Il comma 5ter dello stesso articolo 8 indica quindi che “*con riferimento al comma precedente, i Comuni provvedono a perimetrare, per i tempi di ritorno pari a 50, 100, 200 e 500 anni, come aree urbane di pericolosità idraulica quelle parti del territorio comunale nelle quali la vulnerabilità delle persone (Vp) assuma valori superiori a 0,75. La vulnerabilità delle persone Vp, secondo le Linee Guida ISPRA, è espressa dalla relazione  $Vp=h(v+0,5)+0,25$ , con (h) in metri e (v) in metri al secondo e assumendo  $Vp=0$  nel caso in cui (h) è inferiore o uguale a 0,25 m. Per tali aree si applicano le norme di cui ai successivi articoli 27, 28, 29 e 30 per i corrispondenti tempi di ritorno.*”

Inoltre il comma 5quater precisa che “*i Comuni, a seguito degli studi di cui al comma 5bis, per le aree urbane (Hi\*) nelle quali Vp assume un valore inferiore o uguale a 0,75, applicano le norme d'uso stabilite dai piani urbanistici comunali generali ed attuativi, previa loro variante urbanistica*



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

*di adeguamento per tener conto delle risultanze di tali studi. L'adeguamento dei piani urbanistici comunali generali ed attuativi è effettuato nel rispetto dei principi generali del PAI, con particolare riferimento agli articoli 16, 47 e 49 delle NA, con l'obiettivo di evitare la creazione di nuove situazioni di criticità, ridurre la vulnerabilità degli edifici esistenti, limitare l'impermeabilizzazione dei suoli e migliorare in modo significativo o comunque non peggiorare le condizioni di funzionalità dei sistemi di drenaggio urbano. Gli interventi, le opere e le attività sono realizzati previa loro specifica valutazione da parte dei Comuni, in sede di procedura di formazione dei titoli abilitativi, in relazione alle situazioni di criticità nelle aree (Hi\*) individuate."*

Il criterio di definizione dell'indice Vp è sostanzialmente mutuato dalle Linee Guida ISPRA (Linee Guida 82/2012 - Proposta metodologica per l'aggiornamento delle mappe di pericolosità e di rischio) che riportano le indicazioni per l'attuazione della Direttiva Comunitaria 2007/60/CE (DL n. 49/2010).

E' ancora da evidenziare che con Deliberazione n. 3 del 30.07.2015 il Comitato Istituzionale ha definito il *Reticolo idrografico di riferimento* per le finalità di applicazione delle Norme Tecniche di Attuazione del PAI e delle relative Direttive come l'insieme degli elementi idrici contenuti nell'ultimo aggiornamento dello strato informativo 04\_ELEMENTO\_IDRICO.shp del DBGT\_10k\_Versione 0.1 (Data Base Geo Topografico 1:10.000) scaricabile dal sito istituzionale della Regione Sardegna, che dovrà essere opportunamente integrato con gli ulteriori elementi idrici eventualmente rappresentati nella cartografia dell'Istituto Geografico Militare (IGM), Carta topografica d'Italia - serie 25V edita per la Sardegna dal 1958 al 1965.

La presente relazione definisce le Linee Guida e gli indirizzi operativi per la redazione dei suddetti studi per i bacini urbani residui con particolare riferimento all'analisi modellistica idraulica da applicare, con indicazioni inerenti alla definizione del data base cartografico e allo studio



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

idrologico. Nell' Allegato 1 sono riportate le indicazioni metodologiche sulla modellazione idraulica bidimensionale del deflusso superficiale con alcuni specifici riferimenti all'applicazione ad un caso reale.



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

### **3 Metodologia**

Nei paragrafi che seguono viene descritta la metodologia consigliata per la stima del deflusso e l'analisi dei fenomeni idrodinamici di allagamento in aree urbane. La metodologia fa riferimento a strumenti modellistici frequentemente utilizzati nella pratica progettuale trascurando soluzioni software di maggiore complessità con onerose licenze d'uso. In particolare saranno illustrate le conoscenze necessarie per l'applicazione dei modelli idraulici numerici 2D, individuando i dati necessari per la caratterizzazione topografica, geo-pedologica, morfologica e idraulica delle superfici che costituiscono il bacino urbano studiato. Saranno inoltre fornite indicazioni sulle modalità di implementazione dei modelli necessari per eseguire le analisi e la predisposizione delle mappe che caratterizzano i processi di inondazione.

#### **3.1 Identificazione delle fasi di studio**

Il problema della determinazione delle aree di allagamento in ambito urbano conseguente ad eventi caratterizzati da intensità superiore a quelli normalmente utilizzati per il dimensionamento delle reti di drenaggio delle acque meteoriche (fognatura bianca) è usualmente risolto mediante un approccio in due fasi: nella prima si utilizza un modello idrologico di trasformazione afflussi-deflussi per la determinazione del deflusso (pioggia netta); nella seconda fase si utilizza un modello idraulico per lo studio della propagazione della corrente superficiale mediante la soluzione delle equazioni bidimensionali caratterizzanti correnti con battenti idrici limitati (*shallow water equation model flow*).

L'utilizzo di tale approccio in due fasi è frequentemente documentato in letteratura (AMK associates 2004), (Stephenson, 1987; 1989), (McBean et al., 1985), (Wisner and Kassem, 1982), (Ellis et al., 1982), (Wisner et al., 1981) e si basa anche sulla constatazione che nella realtà fisica il sistema di drenaggio delle aree urbane è in genere costituito, oltre che dalla rete di drenaggio delle acque meteoriche interrata, da un sistema di convogliamento del deflusso superficiale rappresentato



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

da strade, canaline, fossi, naturali o artificiali, che sono capaci di convogliare portate considerevoli per gli eventi con tempi di ritorno decisamente superiori a quelli di dimensionamento delle reti interrate (fognatura bianca o meteorica). Una descrizione della evoluzione e delle applicazioni di tale approccio è contenuta, ad esempio, in (Smith, 2006).

Nella pratica progettuale è generalmente accolto il criterio di dimensionamento della fognatura bianca per portate conseguenti ad eventi di precipitazione con 10-30 anni di tempo di ritorno (si vedano in proposito anche le Norme UNI EN 752 – ver. giugno 2017) mentre, per gli eventi con tempo di ritorno superiore, il deflusso dovrà avvenire in superficie e, pertanto, dovranno essere analizzate le conseguenti correnti idriche per valutarne le possibili pericolosità associate. In particolare nelle Linee Guida predisposte dall’Agenzia di distretto idrografico per il rispetto del criterio di Invarianza Idraulica, approvate con Deliberazione n.2 del Comitato Istituzionale del 17.05.2017, viene indicato un tempo di ritorno minimo di 20 anni per il dimensionamento della rete di dreno.

Sulla base delle considerazioni sopra esposte, l’analisi per la verifica delle criticità nelle aree urbane si potrà articolare in due fasi.

- la prima fase prevede lo studio di un modello idrologico che consenta l’elaborazione dello ietogramma di pioggia netta per gli eventi pluviometrici di riferimento (v. §4- Modello Idrologico);
- la seconda fase prevede lo studio della propagazione dell’allagamento superficiale nella zona urbana conseguente allo scorrimento delle acque superficiali per la saturazione della capacità di infiltrazione del suolo (v. §5 - Modello Idraulico).



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

### **3.1.1 Modello idrologico**

Le elaborazioni necessarie alla realizzazione della prima fase si basano sui procedimenti ben noti per la trasformazione della pioggia lorda in pioggia netta. L'entità della prima potrà essere valutata mediante le curve di possibilità pluviometrica valide per l'area in esame oppure mediante l'impiego di pluviogrammi di eventi storici registrati e assunti a riferimento.

In tale fase si dovrà pervenire alla stima delle perdite iniziali e delle perdite per infiltrazione durante l'evento. Nella stima dello ietogramma di pioggia netta potrà essere utilizzato il modello empirico del Soil Conservation Service (SCS, 1975, 1985). Come è noto, tale metodo è basato sulla caratterizzazione geo-pedologica e di uso dei suoli al fine di pervenire alla attribuzione per aree omogenee del coefficiente CN (Curve Number) e di determinare, per ciascuna frazione temporale del tempo di pioggia, l'aliquota di infiltrazione e quindi la pioggia netta risultante.

Poiché il metodo SCS richiede l'utilizzo delle tabelle di attribuzione della classe del CN, la definizione di tale grandezza potrà essere realizzata con i criteri contenuti nelle Linee Guida predisposte dall'Agenzia di distretto idrografico per il rispetto del criterio di Invarianza Idraulica, alle quali si rimanda (Deliberazione n.2 del Comitato Istituzionale del 17.05.2017).

Le classi di uso del suolo del bacino tributario potranno essere dedotte dallo specifico tematismo disponibile tra le risorse del GeoPortale della Regione e dovranno eventualmente essere integrate con sopralluoghi, elaborazioni mediante l'analisi delle fotografie aeree ed ulteriori analisi condotte su scala appropriata al fine di pervenire alla puntuale caratterizzazione del suolo e della sua copertura.

Tra i software che consentono di stimare l'entità della precipitazione netta utilizzando il metodo SCS si segnala, a puro titolo di esempio, il modello HEC-HMS (liberamente distribuito e sviluppato dal Hydrologic Engineering Center del U.S. Army Corps of Engineers) <sup>(1)</sup>. Altri software (sia

---

<sup>1</sup> US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center, HEC. 609 G St., NW. Washington, DC 20314-1000



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

commerciali che di pubblico dominio) prevedono metodi di stima anche più complessi, nei quali sono inclusi oltre alla modellazione dei fenomeni di perdita che si realizzano nel bacino, la modellazione del contesto meteo-climatico (precipitazione, ventosità, neve) e la modellazione dei fenomeni di trasporto (routing 1D).

Alcuni dei modelli sopra citati offrono soluzioni integrate sia dei processi idrologici che di quelli idraulici di trasferimento della pioggia netta generata, con la possibilità di effettuare la verifica della rete mediante l'analisi dei processi idrodinamici unidimensionali o uni-bidimensionali.

### **3.1.2 Modello Idraulico 2D**

Relativamente allo studio della propagazione della corrente idrica superficiale, considerato che le reti di drenaggio delle acque meteoriche sono dimensionate per tempi di ritorno significativamente inferiori a quelli indicati dal PAI (Tr 50, 100, 200 e 500 anni), secondo un orientamento generalmente adottato, a favore della maggior cautela è ammessa la semplificazione per cui si può trascurare il contributo al deflusso dato dalla presenza della rete fognaria urbana. Tuttavia, nel caso di situazioni particolari, nelle quali si ritiene significativo il considerare anche la presenza della rete fognaria di drenaggio urbano, si dovranno utilizzare approcci più complessi che consentono di quantificare il deflusso trasferito alla rete di drenaggio delle acque meteoriche. Pertanto, con esclusione delle situazioni sopra dette, si potrà ipotizzare che tutto il deflusso si propaghi superficialmente interessando il reticolo viario e individuando le direzioni di scorrimento superficiale nel territorio.

In questa fase, l'analisi della propagazione della piena potrà essere effettuata con modelli idrodinamici specifici che utilizzano il set di equazioni del tipo "Shallow Water Waves" (SWE) e che forniscono per ciascuna porzione del campo del moto (discretizzato in maglie), il valore del tirante idrico e della velocità. Le SWE rappresentano l'approccio più accurato ed esaustivo nella descrizione del comportamento di un fluido che si propaga su una topografia localmente complessa (complex surface micro topography approach): infatti la micro-topografia nelle aree di esondazione è un fattore dominante nella variazione spaziale delle proprietà del fluido (come velocità, direzione



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

e tirante idrico; v. ad esempio Moramarco and Singh, 2002) che non può essere rappresentata adeguatamente in un modello 1D.

Tuttavia, per descrivere in modo accurato gli effetti di propagazione di fenomeni transitori, l'uso delle SWE richiede uno sforzo computazionale rilevante che spesso ne limita l'applicazione a modelli di evento. La risoluzione delle equazioni permette la dettagliata rappresentazione nel reticolo delle grandezze di battente idrico e velocità che caratterizzano il deflusso superficiale in ambito urbano.

Come è noto, se partendo dalla forma completa del sistema delle SWE, si trascurano i termini inerziali, si ottengono le equazioni del modello diffusivo (o parabolico); se si trascurano i termini inerziali e di gradiente di pressione si ottiene il modello cinematico (o modello dell'onda cinematica). Pertanto, a fronte della possibilità di ottenere una soluzione mediante il sistema in forma completa delle SWE vi è anche la possibilità di utilizzare i modelli approssimati purché siano rispettate alcune condizioni che di fatto ne limitano l'applicazione in alcuni scenari. Infatti la scelta del set di equazioni da utilizzare dipende da moltissimi fattori, alcuni dei quali legati alla disponibilità di dati di input ed alla necessità di generare risultati ad un appropriato livello di dettaglio.

Anche per la modellazione idraulica 2D è disponibile un'ampia varietà di software presenti sul mercato (si veda ad esempio Teng et al, 2017).

Il modello RAS (River Analysis System), sviluppato e liberamente distribuito dall'“U.S. Army Corps of Engineers (USACE) - Hydrologic Engineering Center” (CEIWR-HEC) è, tra i pacchetti di pubblico dominio quello più diffuso nell'analisi dei sistemi fluviali. Il software è stato recentemente aggiornato con il modulo 2D per l'analisi idrodinamica delle correnti sul dominio spaziale in due dimensioni, in aggiunta ai moduli già presenti di simulazione idraulica 1D quali



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

(“Steady Flow”, “Unsteady Flow”, ”Movable Boundary Computations” e “Water Quality Analysis”).

Nel seguito, al fine di fornire una esemplificazione della procedura utilizzabile, si farà pertanto riferimento al codice HEC-RAS 2D. E' opportuno tuttavia evidenziare che lo specifico riferimento ad esso deriva unicamente dalla necessità di fornire alcune specifiche indicazioni sulla utilizzazione dello strumento più frequentemente utilizzato nell'ambito professionale.

Tale esigenza di operatività delle presenti Linee Guida è stata tenuta in conto, ma per questa fase di modellazione rimane comunque impregiudicata la possibilità di utilizzare software alternativi che possano essere più specificamente strutturati per l'ambito applicativo esaminato.

### **3.2 Potenzialità del modello 2D implementato in Hec-Ras**

Il software può realizzare la modellazione di una corrente sia 1D che 2D oppure combinare elementi di corrente 1D con altri 2D con una flessibilità applicativa che consente lo studio del moto della corrente fluviale distinguendo le caratteristiche idrodinamiche nell'area interessata.

Un ulteriore elemento di flessibilità del software riguarda la possibilità di risolvere il problema idrodinamico con le shallow water equations complete oppure con l'equazione dell'onda diffusiva in 2D, lasciando all'utente la possibilità di scegliere quale set di equazioni utilizzare in relazione alla tipologia del modello studiato. In generale la soluzione ottenuta utilizzando le equazioni di De Saint Venant sarà più accurata rispetto quella ottenuta con l'onda diffusiva. A tale accuratezza tuttavia



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

corrispondono tempi di soluzione più lunghi (richiedono l'adozione di time step molto più piccoli) e una minore stabilità numerica.

Come già accennato precedentemente, alcune situazioni tuttavia richiedono l'utilizzo delle equazioni complete, come ad esempio nello studio delle onde di piena che si propagano in maniera rapida, oppure in caso di correnti con brusche espansioni o contrazioni del fluido, o ancora in condizioni di moto influenzato dalle onde di marea. Inoltre richiedono più propriamente l'utilizzo delle equazioni di Saint-Venant complete i casi ove sia richiesto uno studio dettagliato delle velocità e della superficie della corrente in prossimità di particolari strutture ed edifici o la modellazione accurata del passaggio da regime lento a veloce e viceversa.

Il metodo numerico utilizzato per la soluzione delle equazioni del problema 2D utilizza l'algoritmo del volume finito implicito che consente step temporali più grandi dei metodi espliciti e un aumento della stabilità rispetto ai tradizionali metodi alle differenze finite o agli elementi finiti. Inoltre può tenere conto dei cambi di regime da lento a veloce e viceversa in presenza di risalto.

L'implementazione dell'algoritmo di soluzione consente il trasferimento dei flussi tra gli elementi 1D e 2D per ciascuno dei time step computazionali, consentendo un rapido riscontro del risultato durante tutto il tempo di simulazione.

Sempre con riferimento al dato geometrico, il software include un modulo di generazione semi-automatica della griglia computazionale (mesh) richiedendo all'utente la sola specificazione della frontiera del dominio e delle dimensioni cartesiane degli elementi; tuttavia pur ammettendo elementi di forma così varia e articolata, il software Hec-RAS si avvantaggia dal riconoscimento delle celle che sono inserite in una griglia di maglia ortogonale. Sulla base dell'estensione del dominio di calcolo prescelto, l'analisi idraulica effettuata con Hec-RAS si avvale di una griglia di tipo strutturato che però localmente può essere del tipo non strutturato ovvero costituita da celle a



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

forma di triangolo, quadrato, rettangolo e poligoni in generale fino a otto lati, efficace per rappresentare con il necessario dettaglio la geometria dell'area studiata.

Inoltre, nel software è implementata la possibilità di frammentare il dominio di calcolo in sottodomini, ciascuno dotato di caratteristiche geometriche (forma e dimensioni delle maglie) e computazionali (parametri e set di equazioni risolutive) differenziate in modo opportuno in relazione alle peculiarità dell'area studiata e degli obiettivi dello studio. Questo permette di effettuare rifiniture e addensamenti della mesh limitatamente alle aree per le quali è richiesto maggior dettaglio (tipicamente in corrispondenza di rapide variazioni morfologiche del terreno in caso di pendenze elevate oppure ostacoli fissi, edifici etc), aspetto che rappresenta un utile accorgimento anche al fine di ottimizzare l'occupazione di memoria nell'elaboratore.

Un altro aspetto tipico della modellazione 2D riguarda la scelta della dimensione delle celle, fattore da valutarsi opportunamente in relazione al dettaglio richiesto dall'analisi (ovvero al peso computazionale da esso derivante) che influenza l'accuratezza e la stabilità numerica dell'algoritmo. Sui criteri di scelta della dimensione massima delle celle e sui parametri che influenzano tali dimensioni si rimanda alle valutazioni effettuate nel manuale d'uso.

Indipendentemente dalla dimensione adottata nelle celle del reticolo, il software è in grado di sfruttare l'elevato dettaglio offerto dai modelli digitali di terreno (DTM) in quanto implementa una procedura specifica (denominata "subgrid model") che consente di attribuire a ciascun elemento le proprietà geometriche ed idrauliche utilizzate nella caratterizzazione delle celle e delle facce delle celle (dedotte dal DTM). Ciò permette anche il riconoscimento delle celle parzialmente bagnate in relazione a un valore di quota del pelo libero e alla morfologia della cella stessa descritta attraverso il modello di terreno ("wet-dry model").



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Infine, dal punto di vista dell'interfacciamento con l'hardware, si rileva come il software può avvantaggiarsi di sistemi operativi a 64 bit o che sfruttano architetture basate su processori multi-core (parallelizzazione del processo di calcolo).



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

## 4 Modello idrologico per l'analisi del deflusso

### 4.1 Aspetti generali

Come già detto, la prima fase dello studio prevede l'individuazione dei bacini idrografici contribuenti utilizzando i consueti metodi geomorfologici, anche con l'impiego di procedure implementate con strumenti GIS. In tale fase dello studio sarà necessario disporre dei dati di base, tra i quali: la cartografia tecnica in formato digitale avente dettaglio adeguato, il modello digitale del terreno (DTM), il tema dell'uso del suolo (LU), della copertura del suolo (LC) e della caratterizzazione geologica dei siti (GEO); questi tematismi sono solitamente disponibili per l'intero territorio regionale.

Il modello digitale del terreno è liberamente scaricabile dal sito istituzionale della Regione Sardegna <sup>(2)</sup> relativamente all'intero territorio regionale con una risoluzione spaziale minima di 10 metri ma con infittimenti di dettaglio fino ad 1 metro recentemente predisposti in aree di elevato interesse, ripartite in data-set come appresso denominati:

- “fasce costiere”,
- “aree critiche”,
- “costa Gallura”
- “fasce fluviali”.

Con riferimento a ciascuno degli elementi informativi sopra citati, questi sono disponibili nel Geoportale della Regione alla relativa area tematica, unitamente alla Carta Tecnica Regionale (CTR) in formato raster e ai dataset del GeoDataBase Regionale costituito da primitive geometriche in formato GIS.

---

<sup>2</sup> Per maggiori dettagli si rimanda al sito  
[http://www.sardegnaageoportale.it/webgis2/sardegnamappe/?map=download\\_raster](http://www.sardegnaageoportale.it/webgis2/sardegnamappe/?map=download_raster).

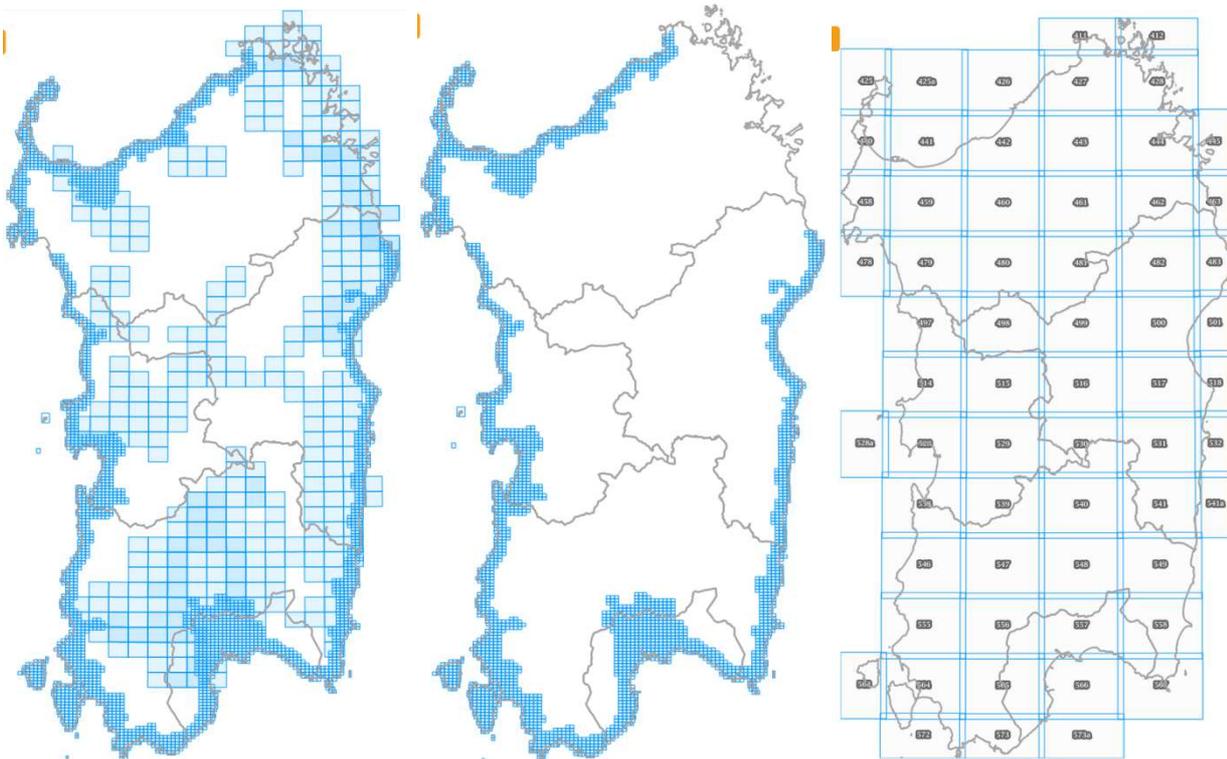


REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA



**Figura 1 - Copertura dei DTM disponibile per il download dal GeoPortale istituzionale ai vari dettagli disponibili (a sin 1 m, 5 m al centro, 10 m a destra)**

L'elevato dettaglio dei dati territoriali richiede, preliminarmente, una verifica con la scala di rappresentazione delle elaborazioni. A mero titolo di esempio e con riferimento ai DTM, il parametro caratterizzante è rappresentato dalla dimensione dell'unità di informazione (pixel): si consideri infatti che per l'analisi geomorfologica di piccoli bacini può essere sufficiente una griglia di 3-5 m di lato, mentre nelle successive fasi di analisi idraulica invece potranno essere utilizzati dettagli maggiori per una accurata delineazione delle aree allagabili.

In altri casi che si presentano nelle varie fasi di sviluppo dello studio, potrebbe essere necessario disporre di dettagli ancora maggiori che però sono in genere richiesti solo nella parte conclusiva dell'analisi idraulica e pertanto saranno da riservarsi al dataset impiegato nell'analisi idraulica, soprattutto quando tali situazioni sono riferite a contesti nei quali si richiede un elevato dettaglio.



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Si puntualizza che le analisi idrauliche svolte in area urbana richiedono frequentemente tale elevato livello di dettaglio per la necessità di rappresentare adeguatamente la presenza e la forma degli edifici che condizionano la direzione di propagazione del flusso idrico.

Bacini di dimensioni maggiori possono essere convenientemente indagati mediante DTM aventi pixel di dimensione più grande, anche in dipendenza della capacità di calcolo richiesta, del tempo disponibile per le elaborazioni e dal dettaglio ricercato.

#### **4.2 Bacino e Reticolo idrografico di riferimento**

Per la corretta individuazione del bacino di riferimento, è necessario preliminarmente identificare la sezione di chiusura lungo le linee di scorrimento del flusso potenzialmente attivabile, rappresentate frequentemente dalle strade urbane che, in caso di precipitazioni molto intense, costituiscono i percorsi del deflusso superficiale (linee di drenaggio) alimentato dalle aree scolanti ricomprese nell'area urbanizzata considerata.

Nell'analisi sarà necessario tenere conto del fatto che le opere di urbanizzazione (e quindi anche la eventuale rete fognaria) tendono a modificare la delimitazione dei bacini naturali superficiali e spesso la rete di collettamento (aperta o intubata) determina l'allacciamento di bacini idrografici non naturalmente connessi sulla base della sola acclività dei terreni. A tale scopo è assolutamente consigliabile aggiungere alla conoscenza dei tematismi elencati al paragrafo precedente, anche lo sviluppo planimetrico della rete di drenaggio meteorica (eventualmente distinguendo i rami di collettamento principale da quelli di captazione) al fine di pervenire al corretto tracciamento dei bacini scolanti: tale informazione spesso determina l'inclusione di aree aggiuntive rispetto a quelle ottenute applicando il criterio puramente altimetrico. Pertanto, per ottenere una delimitazione delle aree contribuenti aderente alla effettiva funzionalità idraulica del sito, dovranno essere considerate anche le aree ad esso allacciate per effetto della rete di drenaggio.



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

L'individuazione sistematica dei compluvi (effettuata mediante l'analisi del DTM) conduce alla delineazione delle *linee di drenaggio* le quali possono essere criticamente confrontate con il reticolo idrografico eventualmente disponibile o residuale rispetto alla trasformazione operata dalla urbanizzazione. Spesso, infatti, i reticoli idrografici originali ricalcano, per ampi tratti, il reticolo stradale dell'area urbanizzata.

Se l'analisi idraulica è effettuata considerando la capacità di drenaggio della rete meteorica eventuali apporti idrici alla rete di smaltimento provenienti dai primi strati del sottosuolo ed intercettati dalla rete, dovranno essere valutati per consentire la stima della portata di base.

La delimitazione delle aree contribuenti consente di quantificare le grandezze morfometriche solitamente utilizzate per la stima del tempo critico del deflusso nel bacino. A tale proposito ad esempio si osserva che nella stima della pendenza media (dei versanti e degli elementi della rete) i valori dedotti dal DTM possono risultare anche fortemente condizionati da situazioni morfologiche particolari, in quanto lo sviluppo e la trasformazione urbanistica dei luoghi tende ad alterare le forme naturali dei versanti, spesso con una generale attenuazione delle acclività su ampie porzioni di superficie.

Viceversa, potenziali anomalie presenti nel DTM potrebbero alterare il risultato di analisi basate sulle proprietà delle superfici (quote, pendenze etc.) dedotte dal dataset senza esaminarne preliminarmente la qualità.

### **4.3 Determinazione degli ietogrammi di progetto**

Nella valutazione della portata di colmo corrispondente ad un evento di assegnato tempo di ritorno si considerano, di norma, le curve di possibilità pluviometrica (CPP) con assegnata durata dell'evento pluviometrico in relazione alle quali è possibile elaborare uno ietogramma teorico di progetto per la cui tipologia si raccomanda, tra quelle maggiormente utilizzate, quella Chicago (Keifer & Chu, 1957): questa, rispetto alle altre forme, fornisce correttamente la stima dell'intensità



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

media di precipitazione, pari a quella indicata dalla CPP, per qualunque durata interna all'evento. Inoltre, lo ietogramma Chicago ha il vantaggio di non essere molto sensibile al variare della durata complessiva dell'evento e quindi alla definizione del tempo di evento.

Nel definire lo ietogramma, nel seguito sarà considerato il coefficiente  $r$  che individua la posizione del picco pari a 0.4 della durata complessiva di evento adottata.

Come si vedrà nel paragrafo seguente, riguardo alla durata dell'evento da adottare, una indicazione potrà essere ovviamente fornita dal tempo di corrivazione del bacino alla sezione di chiusura considerata e potranno inoltre essere criticamente confrontati i risultati ottenuti con durate maggiori anche in relazione al tempo necessario alla formazione del deflusso e al tempo di accesso alla rete o in relazione a eventi meteorici reali di durata documentata critica per il bacino studiato.

#### **4.3.1 Durata critica**

Come è noto, quale tempo di corrivazione  $t_c$  si indica il tempo impiegato da un volume idrico elementare nel percorrere il percorso "idraulicamente più lungo" nel bacino e defluire alla sezione di chiusura del bacino.

Per la stima del tempo di corrivazione si riporta, a titolo di esempio, la relazione fornita dal US Soil Conservation Service, spesso utilizzata nei bacini urbani:

$$t_c = 0.00227 \cdot L^{0.8} [(1000/CN) - 9]^{0.7} S^{-0.5}$$

dove CN è il parametro Curve Number nelle condizioni iniziali di umidità del suolo di tipo AMC-III, S è la pendenza media percentuale del bacino e L la lunghezza dell'asta principale di deflusso nell'area considerata, espressa in metri.



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

L'uso di tale espressione è comunque da associare, per un confronto critico, ad altre relazioni valide per l'area studiata, pervenendo quindi alla stima del tempo di corrivazione.

Nei bacini naturali, oltre al tempo di corrivazione, si tiene conto anche del tempo di formazione del deflusso superficiale mediante una stima del tempo durante il quale si realizzano le perdite nei primi istanti di pioggia per intercezione vegetale, depressioni e detenzione superficiale (initial abstraction).

Per i casi nei quali sia opportuno tenere in considerazione la presenza della rete urbana di dreno, si introducono altri parametri che riguardano i fenomeni che avvengono durante l'intercezione del deflusso da parte della rete di captazione e il trasferimento del deflusso nella rete dei collettori pluviali. In tal caso, a favore della maggior tutela, al tempo di corrivazione può essere sommata la stima del tempo di accesso alla rete  $t_a$  calcolata mediante la relazione valida per le aree urbanizzate (Mambretti e Paoletti, 1998):

$$t_{a,i} = \frac{0.5 \cdot l_i}{s_i^{0.375} (i \cdot \varphi_i S_i)^{0.25}}$$

che lega tale tempo alla lunghezza  $l_i$  dei percorsi di corrivazione delle acque scolanti in superficie, all'intensità di pioggia  $i(t)$ , alla pendenza media  $s_i$  dell' $i$ -esimo sottobacino di superficie  $S_i$  e al coefficiente di afflusso  $\varphi_i$ .

La determinazione del tempo di traslazione può essere effettuata mediante la relazione seguente (Becciu et al., 1997):

$$t_r = \sum_i \frac{l_i}{1.5 \cdot V_{u,i}}$$



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

essendo  $V_{u,i}$  la velocità di moto uniforme nel condotto di lunghezza  $l_i$  la cui sommatoria è estesa a tutti i tratti costituenti il percorso più lungo.

Gli elementi utili alla valutazione dei coefficienti presenti nelle precedenti relazioni sono reperibili nei manuali.

In sintesi, quindi, considerando anche il deflusso veicolato dalla rete meteorica, la valutazione della durata critica è effettuata considerando la durata dell'evento pari a

$$t_p = t_c + t_a + t_r .$$

In generale, a parità di tempo di ritorno, sarà opportuno, partendo da una durata dell'evento uguale al tempo di corrivazione, realizzare anche successive stime dello ietogramma di progetto. In linea di massima, si raccomanda di utilizzare una durata della pioggia pari ad almeno 1.5 volte il tempo di corrivazione calcolato.

#### **4.3.2 Ietogramma tipo Chicago**

La valutazione della pioggia totale è alla base della determinazione dello ietogramma di progetto per la stima dell'idrogramma di piena. Come già indicato precedentemente, l'utilizzo di uno ietogramma Chicago consente di considerare la altezza di precipitazione cumulata su qualsiasi durata  $\tau$  interna al tempo di pioggia per il quale è calcolata l'altezza di precipitazione con le CPP. Come riportato nella letteratura tecnica, la costruzione dello ietogramma è fondata sulle relazioni seguenti che legano la durata parziale all'altezza di pioggia cumulata

$$i(t) = n a \left( \frac{rt_p - t}{r} \right)^{n-1} \quad \text{per } t < r t_p \text{ (prima del picco)}$$

$$i(t) = n a \left( \frac{t - rt_p}{1 - r} \right)^{n-1} \quad \text{per } t > r t_p \text{ (dopo del picco)}$$



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

essendo  $n$  ed  $a$  i coefficienti della CPP validi per la zona e il tempo di ritorno assegnati mentre il valore per il parametro  $r$  ( $0 \leq r \leq 1$ ) rappresenta la posizione relativa del picco rispetto alla durata complessiva  $t_p$  dell'evento considerato; in genere  $r$  è assunto pari a 0.4.

Pertanto, considerato un intervallo elementare di durata  $\Delta t$  (passo di modellazione) pari ad un sottomultiplo della durata complessiva  $t_p$  si effettua il calcolo dei coefficienti  $a$  ed  $n$  della CPP e si determina l'intensità di pioggia lorda corrispondente negli istanti antecedenti e successivi al picco assunto come origine dei tempi. Utilizzando la definizione di intensità di precipitazione, si determina quindi la pioggia lorda cumulata relativa all'istante considerato e l'altezza di pioggia relativa all'intervallo elementare  $\Delta t$ .

Ulteriori elementi per la valutazione dello ietogramma di pioggia tipo Chicago sono fornite nelle Linee Guida per il rispetto del principio di Invarianza Idraulica approvate con Deliberazione n.2 del Comitato Istituzionale del 17.05.2017.

#### **4.4 Stima delle perdite di bacino. Attribuzione del parametro CN**

La stima delle perdite di bacino effettuata con il metodo CN-SCS utilizza le informazioni relative alla caratterizzazione geopedologica del territorio in modo da quantificare le perdite iniziali e la capacità di infiltrazione e pervenire alla attribuzione per aree omogenee del coefficiente CN (Curve Number) utilizzato nel metodo del Soil Conservation Service (SCS, 1975; 1985). Il risultato di tale valutazione consente di determinare lo ietogramma di pioggia netta e quindi il deflusso netto da attribuire al bacino.

Nel metodo CN-SCS, come è noto, i suoli sono classificati in quattro classi (A-B-C-D) sulla base delle caratteristiche fisiche e chimiche presenti nel substrato a seguito di una indagine sulle litologie



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

riscontrabili nel bacino la quale svilupperà una cartografia di dettaglio basata su tale distinzione in funzione della differente conduttività idraulica (Tabella 1).

Parallelamente all'indagine sulla natura idrologica, lo studio sulla *tipologia e copertura del suolo* accerta, mediante i metodi e le analisi foto-interpretative, la effettiva natura dello strato più superficiale del suolo ed il suo uso. Richiamando la definizione contenuta nella direttiva INSPIRE (2007/2/CE) <sup>(3)</sup> che indica questa come “copertura fisica e biologica della superficie terrestre” comprese le superfici artificiali, le zone agricole, i boschi e le foreste, le aree (semi)naturali, le zone umide e i corpi idrici, tale caratterizzazione è correlata all'indagine sull'*uso del suolo*.

**Tabella 1. Descrizione delle diverse classi in funzione dei gruppi di Tipo di suolo (metodo SCS-CN)**

Tipo di suolo	Descrizione
A deflusso superficiale potenziale basso	I suoli di questo gruppo, quando sono completamente saturi, hanno deflusso superficiale potenziale (runoff) basso, ed è alta la permeabilità. Sono caratterizzati da avere meno del 10% di argilla e oltre il 90% di sabbia e/o ghiaia e la tessitura è sabbiosa o ghiaiosa. La conducibilità idraulica (Ksat) è maggiore di 14,4 cm/h per tutta la profondità, la profondità dell'orizzonte impermeabile è maggiore di 50 cm, e la profondità della falda superficiale è superiore a 60 cm.  Appartengono a questo gruppo anche le rocce con alta permeabilità per fratturazione e/o carsismo
B deflusso superficiale potenziale moderatamente basso	I suoli di questo gruppo, quando sono completamente saturi, hanno deflusso superficiale potenziale (runoff) moderatamente basso, e l'acqua attraversa il suolo senza impedimenti. Sono caratterizzati da avere tra il 10% e il 20% di argilla e tra il 50 e il 90% di sabbia e la tessitura è sabbioso-franca, franco-sabbiosa. La conducibilità idraulica (Ksat) varia tra 3,6 e 14,4 cm/h per tutta la profondità, la profondità dell'orizzonte impermeabile è maggiore di 50 cm, e la profondità della falda superficiale è superiore a 60 cm.  Appartengono a questo gruppo anche le rocce con permeabilità, medio-alta e media, per fratturazione e/o carsismo

<sup>3</sup> Recepita in Italia con Decreto Legislativo 27 gennaio 2010, n. 32. “Attuazione della direttiva 2007/2/CE, che istituisce un'infrastruttura per l'informazione territoriale nella Comunità Europea (INSPIRE).” GU n.56 del 9-3-2010 - Suppl. Ordinario n. 47



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

<p><b>C</b> Deflusso superficiale potenziale moderatamente alto</p>	<p>I suoli di questo gruppo, quando sono completamente saturi, hanno deflusso superficiale potenziale (runoff) moderatamente alto, e l'acqua attraversa il suolo con qualche limitazione. Sono caratterizzati da avere tra il 20% e il 40% di argilla e meno del 50% di sabbia e la tessitura è prevalentemente franca, franco-limosa, franco-argilloso-sabbioso, franco-argillosa, e franco-argilloso-limosa.</p> <p>La conducibilità idraulica (Ksat) varia tra 0,36 e 3,6 cm/h per tutta la profondità, la profondità dell'orizzonte impermeabile è maggiore di 50 cm, e la profondità della falda superficiale è superiore a 60 cm</p> <p>Appartengono a questo gruppo anche le rocce con bassa e medio-bassa permeabilità per fratturazione e/o carsismo</p>
<p><b>D</b> deflusso superficiale potenziale alto</p>	<p>I suoli di questo gruppo, quando sono completamente saturi, hanno deflusso superficiale potenziale (runoff) alto, e l'acqua attraversa il suolo con forti limitazioni. Sono caratterizzati da avere oltre il 40% di argilla e meno del 50% di sabbia e la tessitura è argillosa, talvolta anche espandibili.</p> <p>La conducibilità idraulica (Ksat) è <math>\leq 0,36</math> cm/h per tutta la profondità, la profondità dell'orizzonte impermeabile è compresa tra 50 cm e 100 cm, e la profondità della falda superficiale è entro i 60 cm</p> <p>Appartengono a questo gruppo anche le rocce con permeabilità molto bassa, le rocce impermeabili e le aree non rilevate o non classificate.</p>

L'uso del suolo, da intendersi come il risultato delle interazioni tra l'uomo e la copertura del suolo, costituisce una descrizione di come il suolo è utilizzato in attività antropiche secondo una classificazione funzionale (classi d'uso) e armonizzata (Corine Land Cover).

La Regione Sardegna è dotata di una caratterizzazione sull'uso del suolo specifica disponibile in formato GIS al GeoPortale Istituzionale con aggiornamento al 2008, tuttavia è necessario che l'indagine sulla copertura dei suoli sia aggiornata allo stato di fatto per il quale lo studio si riferisce ponendo come prioritaria l'evidenziazione delle trasformazioni operate verso classi di copertura artificiali. Tale aggiornamento può essere eventualmente svolto anche utilizzando gli studi che le amministrazioni comunali elaborano in sede di adeguamento degli strumenti urbanistici al P.P.R. sviluppando indagini specifiche sul territorio di competenza anche mediante rilevazioni aeree aggiornate. Pertanto, utilizzando come base la classificazione dell'uso del suolo Corine Land Cover RAS – 2008 che costituisce un preliminare riferimento, dovranno essere condotte integrazioni ed ulteriori attribuzioni effettuate sulla base di rilievi e di analisi specialistica per pervenire all'uso attuale del suolo, da effettuare in situ e da documentare con la relativa carta tematica.



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Nella Tabella 2 è riportata la corrispondenza tra l'uso del suolo e il parametro CN –AMC tipo II corrispondente alla categoria idrologica del substrato così come definito nelle Linee Guida per il calcolo dell'Invarianza Idraulica approvate con delibera n. 2 del Comitato Istituzionale del 17.05.2017.

Operativamente, il valore del parametro CN relativo all'intera estensione del bacino studiato sarà valutato come media pesata sulle estensioni dei tipi omogenei in ciascuna subarea, corretto successivamente alla condizione AMC (Antecedent Moisture Condition) di tipo III utilizzando la relazione seguente

$$CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + 0.13 \cdot CN(II)}$$

**Tabella 2. Valore del Curve Number in funzione dell'uso del suolo (Corine) e del tipo di suolo (Elaborazione ADIS). Delibera del C.I. n.2 del 17.05.2017**

<b>Codice Uso del Suolo (UDS)</b>	<b>UDS</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
AREE PORTUALI	123	98	98	98	98
AREE AEROPORTUALI ED ELIPORTI	124	92	93	94	95
AREE ESTRATTIVE	131	89	92	94	95
DISCARICHE E DEPOSITI DI ROTTAMI	132	90	92	94	95
CANTIERI	133	90	92	94	95
AREE VERDI URBANE	141	65	74	81	84
CIMITERI	143	57	77	85	89
VIGNETI	221	72	81	88	91
FRUTTETI E FRUTTI MINORI	222	67	78	85	89
OLIVETI	223	72	81	88	91
ARBORICOLTURA CON ESSENZE FORESTALI	224	67	78	85	89
PRATI STABILI	231	67	71	81	89
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE A COLTURE PERMANENTI	241	59	74	82	86
SISTEMI COLTURALI E PARTICELLARI COMPLESSI	242	63	73	82	88
AREE PREVALENTEMENTE OCCUPATE DA COLTURA AGRARIE CON PRESENZA DI	243	62	71	78	81

**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

<b>Codice Uso del Suolo (UDS)</b>	<b>UDS</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
SPAZI NATURALI IMPORTANTI					
AREE AGROFORESTALI	244	45	66	77	83
BOSCHI MISTI DI CONIFERE E LATIFOGIE	313	39	51	63	70
AREE A PASCOLO NATURALE	321	67	71	81	89
SPIAGGE DUNE E SABBIE	331	56	73	82	86
PARETI ROCCIOSE E FALESIE	332	98	98	98	98
AREE CON VEGETAZIONE RADA	333	70	75	84	90
PALUDI INTERNE	411	100	100	100	100
PALUDI SALMASTRE	421	100	100	100	100
SALINE	422	100	100	100	100
ZONE INTERTIDALI	423	98	98	98	98
LAGUNE, LAGHI E STAGNE COSTIERI	521	100	100	100	100
MARI	523	100	100	100	100
TESSUTO RESIDENZIALE COMPATTO E DENSO	1111	89	92	94	96
TESSUTO RESIDENZIALE RADO	1112	78	80	85	87
TESSUTO RESIDENZIALE RADO E NUCLEIFORME A CARATTERE RESIDENZIALE E SUBURBANO	1121	74	75	78	80
TESSUTO AGRO-RESIDENZIALE SPARSO E FABBRICATI RURALI A CARATTERE TIPICAMENTE AGRICOLO O RURALE	1122	65	67	70	72
INSEDIAMENTI INDUSTRIALI/ARTIG. E COMM. E SPAZI ANNESSI	1211	89	92	94	95
INSEDIAMENTO DI GRANDI IMPIANTI DI SERVIZI	1212	89	92	94	95
RETI STRADALI E SPAZI ACCESSORI (SVINCOLI, STAZIONI DI SERVIZIO, AREE DI PARCHEGGIO ECC.)	1221	98	98	98	98
RETI FERROVIARIE COMPRESSE LE SUPERFICI ANNESSE (STAZIONI, SMISTAMENTI, DEPOSITI ECC.)	1222	96	96	96	96
GRANDI IMPIANTI DI CONCENTRAMENTO E SMISTAMENTO MERCI (INTERPORTI E SIMILI)	1223	92	93	94	95
IMPIANTI A SERVIZIO DELLE RETI DI DISTRIBUZIONE (TELECOMUNICAZIONI/ENERGIA/IDRICHE)	1224	92	93	94	95
DISCARICHE	1321	90	92	94	95
DEPOSITI DI ROTTAMI A CIELO APERTO, CIMITERI DI AUTOVEICOLI	1322	90	92	94	95
AREE RICREATIVE E SPORTIVE	1421	70	78	83	88
AREE ARCHEOLOGICHE	1422	49	69	79	84
SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE	2111	58	72	81	85

**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

<b>Codice Uso del Suolo (UDS)</b>	<b>UDS</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
PRATI ARTIFICIALI. COLTURE FORAGGERE OVE SI PUÒ RICONOSCERE UNA SORTA DI AVVICENDAMENTO CON I SEMINATIVI E UNA CERTA PRODUTTIVITÀ, SONO SEMPRE POTENZIALMENTE RICONVERTITI A SEMINATIVO, POSSONO ESSERE RICONOSCIBILI MURETTI O MANUFATTI	2112	67	71	81	89
SEMINATIVI SEMPLICI E COLTURE ORTICOLE A PIENO CAMPO	2121	66	77	85	89
RISAIE	2122	98	98	98	98
VIVAI	2123	66	77	85	89
COLTURA IN SERRA	2124	98	98	98	98
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE ALL'OLIVO	2411	59	74	82	86
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AL VIGNETO	2412	59	74	82	86
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AD ALTRE COLTURE PERMANENTI (PASCOLI E SEMINATIVI ARBORATI CON COPERTURA DELLA SUGHERA DAL 5 AL 25%)	2413	59	74	82	86
BOSCO DI LATIFOGLIE	3111	39	51	63	70
ARBORICOLTURA CON ESSENZE FORESTALI (LATIFOGLIE)	3112	39	51	63	70
BOSCHI DI CONIFERE	3121	39	51	63	70
CONIFERE A RAPIDO ACCRESCIMENTO	3122	39	51	63	70
FORMAZIONI VEGETALI BASSE E CHIUSE, STABILI, COMPOSTE PRINCIPALMENTE DI CESPUGLI, ARBUSTI E PIANTE ERBACEE (ERICHE, ROVI, GINESTRE, GINEPRI NANI ECC.)	3221	51	58	73	80
FORMAZIONI DI RIPA NON ARBOREE	3222	51	58	73	80
MACCHIA MEDITERRANEA	3231	51	58	73	80
GARIGA	3232	51	58	73	80
AREE A RICOLONIZZAZIONE NATURALE	3241	45	55	68	75
AREE A RICOLONIZZAZIONE ARTIFICIALE	3242	45	55	68	75
SPIAGGE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	3311	56	73	82	86
AREE DUNALI NON COPERTE DA VEGETAZIONE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	3312	56	73	82	86
AREE DUNALI CON COPERTURA VEGETALE CON AMPIEZZA SUPERIORE A 25 M	3313	56	73	82	86
LETTI ASCIUTTI DI TORRENTI DI	3315	56	73	82	86



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

<b>Codice Uso del Suolo (UDS)</b>	<b>UDS</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
AMPIEZZA SUPERIORE A 25M					
FIUMI, TORRENTI E FOSSI	5111	100	100	100	100
CANALI E IDROVIE	5112	100	100	100	100
BACINI NATURALI	5121	100	100	100	100
BACINI ARTIFICIALI	5122	100	100	100	100
LAGUNE, LAGHI E STAGNE COSTIERI A PRODUZIONE ITTICA NATURALE	5211	100	100	100	100
ACQUACOLTURE IN LAGUNE, LAGHI E STAGNI COSTIERI	5212	100	100	100	100
ESTUARI E DELTA	5213	100	100	100	100
AREE MARINE A PRODUZ. ITTICA NATURALE	5231	100	100	100	100
ACQUACOLTURE IN MARE LIBERO	5232	100	100	100	100
PIOPPETI, SALICETI, EUCALITTETI ECC. ANCHE IN FORMAZIONI MISTE	31121	39	51	63	70
SUGHERETE	31122	39	51	63	70
CASTAGNETI DA FRUTTO	31123	39	51	63	70
ALTRO	31124	39	51	63	70

#### **4.5 Metodo di calcolo dello ietogramma di precipitazione netta**

Come sopra descritto, l'analisi idrologica deve essere svolta considerando diverse stime della durata di pioggia per evidenziare la sensibilità rispetto al valore di colmo della piena ed effettuare una stima cautelativa dell'andamento degli allagamenti potenziali in funzione del volume di pioggia considerato.

Si rimarca come il tempo di corrivazione del bacino sarà da considerarsi come la durata minima di pioggia da utilizzare nelle elaborazioni successive.

La valutazione del parametro CN (§4.4) consente di definire lo ietogramma di pioggia netta che verrà considerato nella modellazione bidimensionale.



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Dal punto di vista operativo, considerando che una precipitazione genera deflusso a condizione che il volume idrico potenzialmente ritenibile dal terreno sia stato saturato, il calcolo della cumulata della pioggia netta  $P_N(t)$  è effettuato mediante la relazione seguente applicata a ciascun istante temporale nel quale si è discretizzato l'evento:

$$P_N(t) = \frac{(P(t) - I_a)^2}{P(t) - I_a + S} \quad (\text{mm})$$

Tale relazione consente di ottenere l'andamento dello ietogramma di pioggia netta risultante per tutti gli istanti per cui è  $P(t) \geq I_a$ , mentre quando  $P(t) < I_a$  si considera  $P_N(t) = 0$ .

Nella espressione precedente, come è noto,  $S$  è il massimo volume specifico ritenibile dal terreno in condizioni di saturazione (espresso in mm) dato dalla relazione:

$$S = \frac{25400 - 254 \cdot CN}{CN} \quad (\text{mm})$$

mentre con  $I_a$  si indica l'altezza cumulata delle perdite iniziali (in mm). Tale grandezza è frequentemente valutata come aliquota di  $S$  ed è quantificabile in prima approssimazione come:

$$I_a = 0.2 S \quad (\text{mm})$$

Successivamente, determinata la  $P_N(t)$  per  $0 \leq t \leq t_p$ , per ciascun intervallo temporale si calcola l'altezza di pioggia netta sottraendo al valore della pioggia cumulata alla fine dell'intervallo generico  $t$ -esimo quello relativo nella cumulata all'intervallo precedente:

$$h_N(t) = P_N(t) - P_N(t-1)$$

Per l'applicazione di tale metodo si può procedere agevolmente utilizzando un foglio elettronico o uno dei software specializzati tra i quali HEC-HMS già citato.



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

## **5 Modello idraulico di allagamento dell'area urbana**

Nel presente capitolo, saranno descritte le operazioni di predisposizione del modello idraulico bidimensionale utilizzato per la modellazione dell'erosione nel contesto urbanizzato e nell'approfondire gli aspetti applicativi si farà specifico riferimento al software HecRAS (ver. 5.0.7), con il fine di descrivere le procedure legate al suo utilizzo. Come più volte rimarcato, l'interesse verso l'utilizzo di HecRAS è motivato dalla sua ampia diffusione in ambito professionale tecnico e, verosimilmente, anche per la sua attitudine ad essere utilizzato da un utente non necessariamente dotato di grande esperienza nella modellistica idraulica numerica.

Le presenti linee guida per lo studio della propagazione degli allagamenti provocati dal deflusso superficiale descriveranno le modalità di analisi nell'ipotesi di insufficienza della rete di fognatura bianca.

### **5.1 Uso di modelli idraulici 2D in ambito urbano**

La necessità dell'utilizzo di approcci modellistici più complessi di quello unidimensionale è finalizzata ad ottenerne una descrizione, la più attendibile possibile, sia del fenomeno di allagamento urbano che delle grandezze caratteristiche che lo governano sulla base dei rilievi topografici dettagliati e degli strumenti di calcolo attualmente disponibili.

Nel capitolo precedente è stato valutato lo ietogramma di pioggia netta che verrà utilizzata come input del modello, mentre in questa sezione sarà delineato il metodo applicabile per la valutazione degli allagamenti mediante l'implementazione del modello idraulico di propagazione effettuata utilizzando gli strumenti informatici già descritti nel capitolo sulla metodologia adottata per lo studio.

Come nel caso dei modelli idraulici in ambito fluviale, l'insieme degli elementi geometrici costituenti il modello idrodinamico è una sub componente assai importante, costituita a sua volta da



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

uno o più modelli per rappresentare i vari elementi che sono inseriti nel modello principale. Tra questi:

- il modello del terreno;
- il modello degli ostacoli presenti dell'area urbana (edifici, muri etc).

Il processo di implementazione del modello idrodinamico 2D ad un caso reale in ambito urbano appare, quindi, parimenti complesso ed è ben noto come siano richieste numerose analisi e valutazioni preliminari alla soluzione, tra le quali si ricordano:

- a) rappresentare adeguatamente il problema fisico inserendo nel modello gli aspetti e le proprietà più rappresentative della situazione reale;
- b) individuare correttamente il campo di flusso e la soluzione numerica da ricercare;
- c) discretizzare fisicamente l'area di studio con un adeguato numero di elementi;
- d) validare il modello sulla base di riscontri reali o altri modelli o eventi ben conosciuti;
- e) individuare aree specifiche dove dettagliare la soluzione del modello;
- f) applicare il modello per l'evento di interesse.

I precedenti punti rappresentano una utile check-list da considerare nello studio del modello idraulico, soprattutto nella complessità tipica dell'area urbana dove molteplici sono gli aspetti che condizionano l'evoluzione dell'evento.

Di seguito sono indicate le fasi nei quali è possibile sviluppare il processo di elaborazione della geometria del modello 2D.

## **5.2 Predisposizione dei dati plano-altimetrici per l'analisi idraulica**

A prescindere dagli aspetti tipici dell'ambito della modellazione (fluviale, rurale o urbana), una componente basilare delle informazioni nella modellazione idraulica è costituita dal modello digitale del terreno che descrive il dominio spaziale delle variabili del moto. La predisposizione del



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

modello digitale di terreno, utilizzando i dataset già elencati nel capitolo relativo alla metodologia, è quindi una parte integrante del processo che include la modellazione idraulica e consente di individuare preliminarmente anche l'estensione più probabile del dominio del moto. Come già riferito, infatti, le informazioni di base concernono:

- A. Modello digitale del terreno:** strato informativo ottenuto come risultato di elaborazioni del dato LiDAR con il set di punti rilevati attraverso il sistema Laser Scanning, rielaborato mediante algoritmi di filtratura per distinguere gli echi vegetazionali e quelli delle strutture di soprassuolo. Si osserva che generalmente la precisione altimetrica corrispondente a tale tipologia di dato è di circa +/- 15 cm, valore che generalmente migliora in ambiti privi di vegetazione come quelli urbani. Come detto, il dato è reperibile presso il GeoPortale istituzionale regionale che copre l'intero bacino unico regionale con risoluzione pari a 10 metri.
- B. Modello digitale degli edifici:** il dataset relativo alla topografia del centro urbano è utilizzato per ricavare le informazioni planivolumetriche degli edifici presenti nel bacino, spesso in forma di primitive geometriche vettoriali relative all'area di impronta. Nel caso del Database Geotopografico della Sardegna, tra gli attributi sono disponibili altri dati numerici di supporto (quota di base dell'edificio, altezza dell'edificio) interpretabili mediante GIS al fine di ottenere una rappresentazione finale 3D dell'edificato. Il dato è reperibile nel GeoPortale istituzionale come Strato ST02TE01CL01PLG del DB Geotopografico della Regione Sardegna con scala di riferimento 1:2000.
- C. Modello digitale della viabilità:** un terzo dataset da elaborare contiene la rappresentazione delle aree stradali e delle zone aperte (parcheggi, svincoli etc). Tali informazioni, utili al fine di rappresentare correttamente le aree di propagazione degli allagamenti, sono disponibili e liberamente scaricabili come Strato ST01TE01CL01PLG del Database Geotopografico della Regione Sardegna.



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA



**Figura 2–Il modello di terreno (DTM) e il modello di superficie ottenuto integrando il primo con il dataset degli edifici, evidenziati mediante l’ombreggiatura delle forme**

In sintesi, le informazioni necessarie per la definizione completa del modello relativo al dominio di calcolo devono essere valutate come il risultato della composizione ordinata dei 3 dataset sopra descritti, sovrapponendo al DTM (primo layer), l’informazione riguardante l’edificato (secondo layer) e quella del tessuto stradale (terzo layer).

La sovrapposizione dei suddetti layers, i quali hanno spesso formati differenti, necessita di un’operazione finale di rasterizzazione e ricampionamento/downscaling: la prima è generalmente necessaria in quanto tale formato è riconosciuto come quello più efficace per l’archiviazione delle mappe digitali di elevazione, mentre la seconda è effettuata in relazione al livello di dettaglio ottimale per la specifica analisi.

Infatti, il modello di superficie ottenuto al termine di tale fase rappresenta elemento essenziale per le elaborazioni idrauliche ed è ovviamente richiesto che questo sia fornito con adeguato dettaglio. Per giungere ad una soluzione valida sarà imprescindibile una valutazione bilanciata della risoluzione spaziale adottata. La scelta del livello del dettaglio influenzerà sostanzialmente sia l’accuratezza dei risultati che il peso computazionale nella risoluzione del modello.



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

In tale valutazione si dovrà considerare, ad esempio, la larghezza media del reticolo stradale, la dimensione degli ostacoli quali muri ed edifici presenti nell'area urbana e il loro orientamento rispetto alla griglia del DTM, giungendo ad un compromesso tra accuratezza e carico elaborativo. Con riferimento allo strato informativo degli edifici, le cui forme hanno gli orientamenti più vari, si consideri che la rasterizzazione delle geometrie vettoriali potrebbe provocare una eccessiva scalettatura (aliasing) ai contorni che avrebbe ricadute sulla valutazione delle resistenze viscosse nel calcolo idraulico.



**Figura 3 - Dettaglio del DTM con gli edifici: si nota la rugosità dei contorni senza giungere ad uno scalettamento delle superfici**

Dimensioni tipiche del pixel in tali casi possono essere anche differenziate in relazione alle diverse condizioni di campo (ad esempio: 0.3 m in area urbana densamente edificata e 3 m negli spazi aperti).

Procedimenti alternativi che prevedono l'utilizzo di modelli digitali di superficie (DSM) utilizzando i dati grezzi del rilievo LiDAR non si possono, in genere considerare rappresentativi ai fini della modellazione idraulica in ambito urbano.

### **5.3 Studio dell'allagamento in area urbana**



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

### **5.3.1 Delimitazione dei domini 2D e loro condizioni al contorno**

La definizione dei domini bidimensionali rappresenta una fase fondamentale dell'implementazione del modello 2D. Il software Hec-Ras consente di inserire diverse tipologie di input in funzione dei quali va definita l'area 2D di riferimento. Nel caso in cui si inserisca come condizione al contorno un idrogramma di piena precedentemente calcolato, è sufficiente considerare in genere solo una porzione delle aree complessivamente ricadenti nel bacino idrografico individuato, in quanto solo una parte di esso sarà soggetto ad allagamento in relazione alla morfologia della superficie del suolo e agli ostacoli che ne condizionano la formazione e lo sviluppo. Qualora l'input del modello sia una pioggia netta il cui idrogramma è distribuito in modo omogeneo sul bacino, è invece necessario considerare un dominio 2D che comprende l'intero bacino idrologico precedentemente calcolato per permettere di considerare l'effettivo e totale volume di pioggia che darà luogo all'allagamento del territorio.

Preliminarmente è necessario valutare quale sia l'area da studiare con il modello di propagazione 2D e tale operazione dovrà considerare la disposizione delle sezioni di chiusura dei vari sottobacini valutando l'ampiezza dell'area di interesse con un criterio geomorfologico, oppure basato sulla esperienza e conoscenza degli eventi trascorsi (pendenza, elevazione, presenza di aree di ristagno naturale, eventi osservati, ecc.). Infatti nell'indagine sulla genesi del fenomeno dell'allagamento è assai frequente individuare diverse componenti areali del bacino complessivo che fanno convergere i deflussi verso un unico compluvio il quale, a sua volta, può rappresentare solamente una delle tante ramificazioni che possono individuarsi nella corrente superficiale. I contributi di tali componenti sono ovviamente vari e diversificati per intensità e durata secondo la risposta idrologica di ciascun sottobacino, evidenziata adeguatamente dalla scelta operata durante l'individuazione delle sezioni di controllo lungo i percorsi di scorrimento che è necessario preliminarmente ravvisare.



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Invece, nel caso in cui nell'analisi sia opportuno considerare la rete dei collettori pluviali, dovrà tenersi in considerazione la disposizione dei nodi critici ove accade che la portata meteorica è rigurgitata e immessa superficialmente: in tale situazione la ripartizione dei sottodomini dovrà essere effettuata in modo tale che la frontiera di ciascuno di essi intersechi i nodi critici (anche convenientemente considerato il baricentro del loro inviluppo) in quanto, come detto, nella versione di riferimento del software Hec-RAS non è stata compiutamente implementata la possibilità di attribuzione della condizione al contorno (input idrologico) al di fuori delle celle di frontiera del sottodominio. Le condizioni al contorno relative alle portate immesse superficialmente dai sottobacini è rappresentata dagli idrogrammi  $Q(s, t)$  ottenuti dalla trasformazione afflussi-deflussi sviluppata mediante il modello idrologico (ad esempio il modello dinamico Hec-HMS) e attribuiti sulla frontiera del sottodominio. Pertanto, in linea generale l'area che sarà oggetto dell'analisi idraulica bidimensionale dovrà necessariamente essere ripartita in più sottodomini secondo criteri legati sia alla fenomenologia del problema specifico che alle limitazioni imposte da Hec-RAS.

Si osserva che, cautelativamente, una volta effettuata la ripartizione del bacino principale studiato in sottobacini, l'idrogramma  $Q(s^*, t)$  valutato per la sezione idrografica generica  $s^*$  lungo la linea di drenaggio principale del bacino, dovrà essere attribuito a monte della sezione stessa e in corrispondenza della frontiera ove essa si origina. Nel caso di immissioni superficiali di piccole portate derivanti dalla criticità da specifici nodi della rete di drenaggio meteorico, l'idrogramma corrispondente sarà attribuito alla frontiera della subarea 2D più vicina, la quale idraulicamente è destinata ad accogliere i deflussi prodotti dagli stessi nodi critici.

Indipendentemente dall'origine della corrente esondante, è importante delimitare le aree corrispondenti ai diversi sottodomini di calcolo (aree 2D) sulla base dell'andamento delle isoipse dei sottobacini.

Si osserva che nelle prime versioni 2D del software HecRas, le immissioni di portata potevano essere inserite solo come condizioni al contorno (di monte), attribuite alla frontiera del dominio di



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

calcolo; pertanto era necessario considerare un numero di aree bidimensionali tante quante erano le condizioni al contorno da imporre meno 1. Nelle ultime versioni è consentito l'inserimento di più idrogrammi di piena all'interno del dominio 2D.

### **5.3.2 Attribuzione della scabrezza (Manning).**

Con riferimento alla scabrezza da attribuire alle celle del campo del moto, deve essere valutato il coefficiente di Manning sulla base dell'uso e copertura dei suoli in conformità con quanto indicato in Chow (1959) valori che sono fondamentalmente coincidenti con quelli riportati nella documentazione di HecRAS.

Il valore del coefficiente  $n$  deve essere assegnato a ciascuna cella in conformità con la classificazione della copertura ed uso del suolo mediante l'analisi di orto-foto e dati come specificato nel capitolo 5.3.2 sviluppando l'elaborazione dei dati territoriali.

Come già descritto, per definire la rete stradale e l'impronta delle costruzioni è necessario utilizzare i dati vettoriali del DB Geo-topografico Regionale per i quali, successivamente, sarà attribuito il corrispondente valore di Manning.

In merito, alle strade è spesso attribuito il valore  $n_1=0.014 \text{ m}^{1/3}\text{s}$  di Manning, tipico della pavimentazione in asfalto; il valore  $n_2=0.30 \text{ m}^{1/3}\text{s}$  è raccomandato da (USACE, 1981) per i blocchi degli edifici (impronta), valore legato all'ostruzione che essi producono nei confronti della corrente idrica. Ad altri spazi aperti, non pavimentati, sono spesso attribuiti il valore  $n_3=0.05 \text{ m}^{1/3}\text{s}$  corrispondente alle aree di pascolo con erba alta (Chow, 1959), (Gallegos, Shubert, & Sanders, 2009).



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

## 6 Bibliografia

- Chow, V.T., 1959. *Open Channel Hydraulics*. McGraw-Hill, New York, 680 p.
- Fewtrell, T.J., Duncan, A., Sampson, C.C., Neal, J.C., and Bates, P.D., 2011. Benchmarking urban flood models of varying complexity and scale using high resolution terrestrial LiDAR data. *Phys. Chem Earth*, 36, 266-280.
- Djordjevic, S., Prodanovic, D., Maksimovic, C., Ivetic, M., and Savic, D., 2005. SIPSON - Simulation of interaction between pipe flow and surface overland flow in networks. *Water Science and Technology*, 52(5), 275-283.
- Gallegos, H.A., Schubert, J.E., and Sanders, B.F., 2009. Two-dimensional, high-resolution modeling of urban dam-break flooding: A case study of Baldwin Hills, California. *Adv. Water Resources*, 32, 1323-1335.
- Gharbi, M., Soualmia, A., Dartus, D., and Masbernat, L., 2016. Comparison of 1D and 2D Hydraulic Models for Floods Simulation on the Medjerda River in Tunisia. *J. Mater. Environ. Sci.*, 7(8), 3017-3026
- Kaushik, C., 2006. *Urban Flood Modelling - A comparative study for 1D and 2D models*. UNESCO-IHE, Delft.
- Keifer, C., & Chu, H. (1957). Synthetic Storm Pattern for Drainage Design. *Journal of the Hydraulics Division*, (83) 1-25.
- Mark, O., Weesakul, S., Apirumanekul, C., Aroonnet, S. B., and Djordjevic, S., 2004. Potential and limitations of 1D modelling of urban flooding. *Journal of Hydrology*, 299(3-4), 284-299.
- Neelz, S., Pender, G., 2013. Benchmarking the Latest Generation of 2D Hydraulic Modelling Packages. DEFRA/Environment Agency, UK. [http://evidence.environment-agency.gov.uk/FCERM/Libraries/FCERM\\_Project\\_Documents/SC120002\\_Benchmarking\\_2D\\_hydraulic\\_models\\_Report.sflb.ashx](http://evidence.environment-agency.gov.uk/FCERM/Libraries/FCERM_Project_Documents/SC120002_Benchmarking_2D_hydraulic_models_Report.sflb.ashx).
- Paz, A.R., Serra, L.S., de Freitas Silva, M.R. and Meller, A., 2016. Reducing computational runtime of two-dimensional urban inundation model by dynamic domain reshaping. *Journal of Hydraulic Engineering*, 21(6), DOI: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001375.
- Sanders, B. (2017). Hydrodynamic Modeling of Urban Flood Flows and Disaster Risk Reduction. *Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard Science*, 1-39.
- Sundermann, L., Schelske, O., & Hausmann, P. (2014). *Mind the risk—A global ranking of cities under threat from natural disasters*. Zurich, Switzerland: Swiss Reinsurance Company
- Schubert, J.E., and Sanders, B.F., 2012. Building treatments for urban flood inundation models and implications for predictive skill and modelling efficiency. *Adv. Water Resources*, 41, 49-64.
- Schubert, J.E., Sanders, B.F., Smith, M.J., and Wright, N.G., 2008. Unstructured mesh generation and landcover-based resistance for hydrodynamic modeling of urban flooding. *Adv. Water Resources*, 31, 1603-1621.
- Spry, R., and Zhang, S., 2006. Modelling of drainage systems and overland flow paths at catchment's scales. *Urban Drainage Modelling and Water Sensitive Urban Design*, Australia, 2-7 April.
- Vieux, Baxter E., 2016. *Distributed Hydrologic Modelling Using GIS*. Springer Ed., Dordrecht
- Zhang, W., and Cundy, T. W., 1989. Modeling of two-dimensional overland flow. *Water Resources Research*, 25 (9), 2019-2035.
- Zhou, F., Chen, G., Huang, Y., Yang, J.Z., and Feng, H., 2013. An adaptive moving finite volume scheme for modeling flood inundation over dry and complex topography. *Water Resources Research*, 49(4), 1914-1928.



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
CAGLIARI**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
AMBIENTALE E ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA