

**ASSE VIARIO MARCHE - UMBRIA E QUADRILATERO DI  
PENETRAZIONE INTERNA**

**Sublotto 2.2: Intervalliva Macerata - allaccio funzionale della SS77  
alla città di Macerata alle località "La Pieve" e "Mattei"**

**PROGETTO DEFINITIVO**

<p><b>IL GEOLOGO</b></p> <p><i>Dott. Geol. Salvatore Marino</i> Ordine dei geologi della Regione Lazio n. 1069</p>	<p><b>I PROGETTISTI SPECIALISTICI</b></p> <p><i>Ing. Ambrogio Sironi</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 4558 n. A35111 artitore a-b-c</p> <p><i>Ing. Moreno Panfilii</i> Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A2657</p> <p><i>Ing. Claudio Muller</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 15754</p> <p><i>Ing. Giuseppe Resta</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p>	<p><b>PROGETTAZIONE ATI:</b> (Mandataria)</p> <p><b>GPI INGEGNERIA</b> GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl</p> <p><b>cooprogetti</b> <b>cocoprogetti</b></p> <p><b>engeko</b> Studio di Architettura e Ingegneria Moderna</p> <p><b>AIM</b> Studio di Architettura e Ingegneria Moderna</p> <p><b>IL PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE. (DPR207/10 ART 15 COMMA 12):</b></p> <p><i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i> ORDINE INGEGNERI ROMA Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 140354035</p>
<p><b>COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</b></p> <p><i>Ing. Valerio Guidobaldi</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A30025</p>		
<p><b>VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO</b></p> <p><i>Ing. Iginio Farotti</i></p>		

**IDROLOGIA E IDRAULICA**

Relazione idrologica

CODICE PROGETTO				NOME FILE				REVISIONE	SCALA
OPERA	LOTTO	STATO	SETTORE	L0703.MC.D.P.GENER.00.IDR.REL.001.B					
				WBS	DISCIPLINA	TIPO DOC.	N° PROGRESS.		
LO703	MC	D	P	GENER00	IDR	REL	001	B	-
B	Revisione a seguito alle istruttorie Prot. QMU 0002937				Ott. 2020	Koch	Signorelli	Guiducci	
A	Emissione				Marzo 2020	Koch	Signorelli	Guiducci	
REV.	DESCRIZIONE				DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	

## INDICE

<b>1.</b>	<b><u>PREMESSA.....</u></b>	<b><u>2</u></b>
<b>2.</b>	<b><u>INQUADRAMENTO IDROGRAFICO.....</u></b>	<b><u>2</u></b>
2.1.	DESCRIZIONE DEL TRACCIATO IN RELAZIONE ALL'IDROGRAFIA SUPERFICIALE .....	2
2.2.	BACINO IDROGRAFICO DEL FIUME CHIENZI .....	2
<b>3.</b>	<b><u>PIANIFICAZIONE DI ASSETTO IDROGEOLOGICO.....</u></b>	<b><u>3</u></b>
<b>4.</b>	<b><u>STIMA DELLE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA.....</u></b>	<b><u>5</u></b>
4.1.	METODOLOGIA VAPI.....	5
4.1.1.	<i>Applicazione della metodologia vapi alla zona di interesse .....</i>	<i>7</i>
4.1.2.	<i>Stima del valore della precipitazione indice .....</i>	<i>11</i>
4.2.	ANALISI STATISTICA DEI DATI PLUVIOMETRICI .....	12
4.2.1.	<i>Analisi delle precipitazioni .....</i>	<i>14</i>
4.3.	SCELTA DELLE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA .....	19
4.4.	DEFINIZIONE DELLE ALTEZZE DI PIOGGIA PER EVENTI DI DURATA INFERIORE ALL'ORA.....	20
4.5.	ALTEZZA DI PIOGGIA E COEFFICIENTE DI RIDUZIONE AREALE .....	20
<b>5.</b>	<b><u>INDIVIDUAZIONE E CARATTERIZZAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI .....</u></b>	<b><u>21</u></b>
<b>6.</b>	<b><u>DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI PROGETTO .....</u></b>	<b><u>21</u></b>
6.1.	TEMPO DI CORRIVAZIONE .....	22
6.2.	COEFFICIENTE DI DEFLUSSO.....	24
6.3.	IETOGRAMMA DI PROGETTO.....	28
6.4.	TRASFORMAZIONE DELLA PIOGGIA EFFICACE IN DEFLUSSO .....	28
6.5.	METODO RAZIONALE .....	30
<b>7.</b>	<b><u>ALLEGATI.....</u></b>	<b><u>33</u></b>
7.1.	HEC HMS .....	33
7.2.	METODOLOGIA .....	35

## **1. PREMESSA**

Il presente studio idrologico idraulico ricade nell'ambito dell'asse viario Marche – Umbria e quadrilatero di penetrazione interna Maxilotto 1 e precisamente a quello relativa al sub lotto 2.2 "Interventi di completamento intervalliva di Macerata". I lavori previsti riguardano il collegamento intervallivo di Macerata, tratto Villa Potenza - Piediripa, con tracciato nuovo e tratti di ampliamento in sede (1 carreggiata, 2 corsie con banchine laterali), per una lunghezza totale di 12 km di cui 5 costituenti l'intervento in oggetto.

Lo studio è mirato a fornire:

- l'inquadramento idrologico del territorio interessato dall'opera e le caratteristiche del reticolo idrografico da questa interferito;
- la definizione delle curve di possibilità pluviometrica mediante differenti approcci metodologici;
- la stima delle portate al colmo di eventi di piena per diversi tempi di ritorno, in corrispondenza delle sezioni di attraversamento ed in generale, di interferenza con il reticolo idrografico necessarie al dimensionamento corretto delle opere di risoluzione idraulica (ponti e tombini);
- la definizione delle portate di progetto per il corretto dimensionamento e verifica degli elementi idraulici appartenenti alla rete di drenaggio stradale, interna ed esterna.

## **2. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO**

### **2.1. DESCRIZIONE DEL TRACCIATO IN RELAZIONE ALL'IDROGRAFIA SUPERFICIALE**

L'infrastruttura stradale in progetto consiste nella realizzazione del tratto di collegamento da Macerata alla SS. 70. Il principale bacino idrografico interessato dall'infrastruttura in studio è quello del Fiume Chienti che il tracciato in studio attraversa prima collegarsi alla SS. 70 mediante un viadotto su due campate con luce 68 m ed una di 50 m di lunghezza pari a 118 m.

### **2.2. BACINO IDROGRAFICO DEL FIUME CHIEN TI**

Il fiume Chienti si estende su una superficie di 1.298 km<sup>2</sup> per una lunghezza dell'asta principale di circa 91 km. Nasce dalla catena degli Appennini presso il Parco Nazionale dei Monti Sibillini. È formato da due rami detti Chienti Gelagna (considerato il ramo principale) con sorgente ad altezza 1100 metri sotto la Bocchetta della Scurosa e il Chienti Pievetorina con sorgente alle pendici del Monte Fema. Questi due rami confluiscono presso la frazione della Maddalena nel comune di Muccia (Km 45 della SS 485) e da lì in poi il fiume prosegue unico dirigendosi ad oriente verso il Mare Adriatico dove sfocia tra i comuni di Civitanova Marche e Porto Sant'Elpidio. Lungo il suo tragitto incontra molti piccoli affluenti tra cui i maggiori sono il Fiastra, il Fiastrone, il Cremone e l'Ete morto tutti di destra. L'intero bacino del Chienti è sfruttato intensivamente per la produzione di energia elettrica tant'è che solo lungo il corso dello stesso fiume vi sono ben quattro laghi artificiali: il Lago di Polverina, il Lago Borgiano (o Caccamo), il Lago S. Maria e Lago Le Grazie; un altro bacino artificiale interessa anche il suo affluente Fiastrone. Il Chienti è un corso d'acqua dal regime tipicamente appenninico con forti piene nella stagione autunnale (anche di 1.500 m<sup>3</sup>/sec) e magre

PROGETTAZIONE ATI:

fortissime in estate. Da sottolineare la forte influenza esercitata dai bacini artificiali sul regime del fiume che mostra a volte anomale variazioni di portata e una certa copiosità "artificiale" delle portate estive in alcuni tratti.

### **3. PIANIFICAZIONE DI ASSETTO IDROGEOLOGICO**

Il bacino del Chienti, così come tutti i bacini minori interferiti, ricade nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'appennino Centrale subentrata come organo competente in data 17 febbraio 2017, con l'entrata in vigore del D.M. 25 ottobre 2016 che sopprime le Autorità di bacino nazionali, interregionali e regionali e che di fatto ai sensi di legge ha acquisito le funzioni dell'Autorità di Bacino Regionale nello specifico della Regione Marche.

Il documento di riferimento per la pianificazione degli interventi in ambito fluviale rimane comunque il Piano di Assetto Idrogeologico richiesto dalle LL. 267/98 e 365/00, che si configura come stralcio funzionale del settore della pericolosità idraulica ed idrogeologica del Piano generale di bacino previsto dalla L. 183/89 e dalla L.R. 13/99. Il progetto di piano è stato approvato con Delibera del Comitato Istituzionale n. 13 del 30/04/2001. Il PAI è stato adottato, in prima adozione, con Delibera n. 15 del 28 giugno 2001. A seguito delle osservazioni alla prima adozione del piano e alle loro istruttorie, il Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino ha adottato definitivamente il PAI, con Delibera n. 42 del 7 maggio 2003 (seconda e definitiva adozione). La Giunta Regionale con DGR n. 872 del 17/06/2003 ha trasmesso il Piano al Consiglio Regionale e con DGR n. 873 del 17/06/2003 ha approvato le "Misure di Salvaguardia", decorrenti dalla data di pubblicazione sul BURM (12 settembre 2003 - BUR n. 83) e vigenti fino all'entrata in vigore del Piano. Il Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) dei bacini di rilievo regionale è stato approvato con Deliberazione di Consiglio Regionale n. 116 del 21/01/2004 pubblicata sul supplemento n. 5 al BUR n. 15 del 13/02/2004. Successivamente all'approvazione del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) dei bacini di rilievo regionale sono stati approvati degli atti che modificano parte degli elaborati allegati al PAI di cui alla Deliberazione di Consiglio Regionale n. 116 del 21/01/2004. Con Delibera Comitato Istituzionale ex AdB Marche n. 68 del 08/08/2016 e' stato approvato, in prima adozione, l'Aggiornamento 2016 al PAI, che deve essere considerato ad integrazione del PAI vigente.

Il PAI, oltre a contenere la delimitazione delle fasce fluviali e delle zone a rischio di inondazione, è corredato da norme di attuazione che dispongono una serie di prescrizioni e vincoli da considerare nella progettazione di tutte le opere destinate ad interagire con il corso d'acqua, tra le quali gli attraversamenti infrastrutturali.

Le finalità del Piano per l'assetto idraulico sono:

- la individuazione secondo la procedura definita nel Piano stesso, della fascia di territorio inondabile assimilabile a piene con tempi di ritorno fino a 200 anni dei principali corsi d'acqua dei bacini regionali;
- la definizione, per le dette aree e per i restanti tratti della rete idrografica, di una strategia di gestione finalizzata a salvaguardare le dinamiche idrauliche naturali, con particolare riferimento alle esondazioni e alla evoluzione morfologica degli alvei, a favorire il mantenimento o il ripristino dei caratteri di naturalità del reticolo idrografico;
- la definizione di una politica di prevenzione e di mitigazione del rischio idraulico attraverso la formulazione di azioni e norme di piano e tramite la predisposizione di un assetto di progetto dei corsi d'acqua, definito nei tipi di intervento, nelle priorità di attuazione e nel fabbisogno economico di massima.

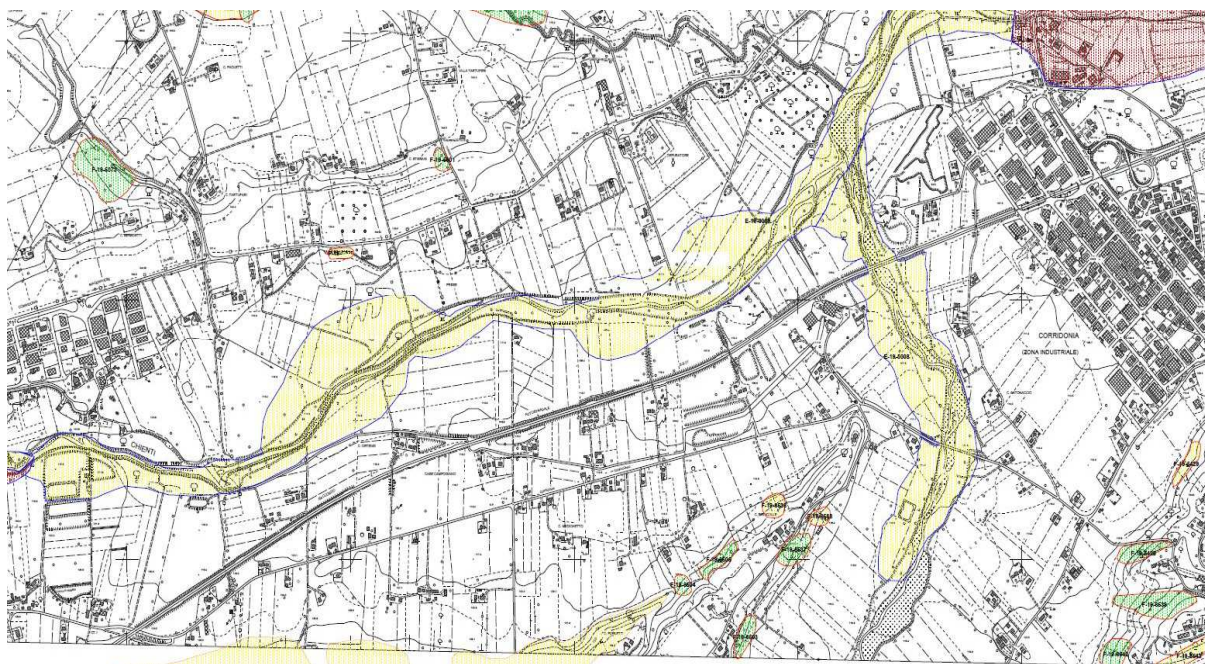
PROGETTAZIONE ATI:

Nell'Art. 7 delle norme di attuazione (All. D) viene definita la fascia di territorio inondabile pertinente a piene con tempi di ritorno fino a 200 anni. La fascia di territorio inondabile assimilabile a piene con tempi di ritorno fino a 200 anni comprende il relativo alveo di piena così come definito nell'allegato indicato all'Articolo 3, comma 2, lettera d), "Indirizzi d'uso del territorio per la salvaguardia dai fenomeni di esondazione".

La fascia di territorio con probabilità di inondazione corrispondente a piene con tempi di ritorno fino a 200 anni costituisce, nei territori non urbanizzati, l'ambito di riferimento naturale per il massimo deflusso idrico ed ha la funzione del contenimento e laminazione naturale delle piene nonché la funzione della salvaguardia della qualità ambientale dei corsi d'acqua.

La fascia che, anche successivamente alla realizzazione degli interventi per la mitigazione del rischio idraulico previsti dal presente Piano, risulta inondabile per piene con tempi di ritorno fino a 200 anni, costituisce l'ambito territoriale definitivo di deflusso delle piene.

Dall'analisi degli elaborati cartografici (SABFEV20160718\_Tavola\_RI52a) relativi alla definizione delle aree a Rischio Idraulico relativa al PAI aggiornamento 2016 risulta che in corrispondenza dell'attraversamento del Chienti le zone adiacenti sono classificate come area a rischio idraulico di categoria R2\_rischio Moderato per insufficienza dell'alveo in occasione delle piene.



Stralcio planimetrico PAI\_elab. SABFEV20160718\_Tavola\_RI52a

#### **4. STIMA DELLE CURVE DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA**

La caratterizzazione pluviometrica di una data zona consiste nella definizione, attraverso analisi statistica, delle cosiddette curve di caso critico o curve di possibilità pluviometrica, le quali forniscono, per un assegnato valore del tempo di ritorno, la relazione tra la durata della pioggia  $\delta$  e la relativa altezza di precipitazione  $h$  (o la relativa intensità di precipitazione  $i$ ). Queste relazioni manifestano un andamento caratteristico, con l'altezza di pioggia che cresce meno che proporzionalmente con l'intervallo di riferimento e con l'intensità che tende a un valore finito elevato quando l'intervallo tende a zero e ad un valore piccolo, ma non nullo, quando l'intervallo diventa molto lungo. Questo andamento può essere rappresentato attraverso varie relazioni, tra cui le più utilizzate sono le seguenti:

- Relazione a due parametri

$$h = a \cdot \delta^n$$

- Relazione a tre parametri

$$h = \frac{a \cdot \delta}{(b + \delta)^m}$$

La relazione a tre parametri ha il vantaggio, rispetto a quella a due parametri, di descrivere con maggiore accuratezza gli eventi meteorici che presentano durate inferiori ad un'ora; quest'ultima presenta infatti l'inconveniente di fornire valori di intensità di pioggia tendenti all'infinito per le basse durate. A questa incongruenza si può ovviare considerando per  $n$  valori diversi per i vari campi di applicazione: normalmente un valore per l'intervallo 1÷24 ore e un altro, maggiore, per durate inferiori all'ora.

Per la determinazione delle curve di possibilità pluviometrica (CCP) associate ai diversi tempi di ritorno  $T_R$ , nel presente studio e si analizzano e si confrontano i risultati di due diverse metodologie:

1. Progetto VAPI, per la cui applicazione si fa riferimento a quanto riportato nella pubblicazione "Sintesi del Rapporto regionale per compartimenti di Bologna, Pisa, Roma e zona emiliana del bacino del Po Toscana Emilia Marche" del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche
2. Analisi statistica tramite il modello probabilistico di Gumbel dei dati osservati ai pluviografi dagli Annali Idrologici forniti dall'Osservatorio delle Acque della Regione Marche la cui area di influenza interessa il tracciato di progetto.

Nella stima delle portate utili alle verifiche di compatibilità idraulica ed al dimensionamento della rete di smaltimento delle acque di piattaforma e di versante, a favore di sicurezza, è stata assunta quale curva di caso critico di progetto quella derivante dall'applicazione di ciascuna metodologia a cui corrispondono le maggiori altezze di pioggia.

##### **4.1. METODOLOGIA VAPI**

In base alla procedura VA.PI., il "processo" dei massimi annuali delle piogge giornaliere e delle piogge di breve durata e forte intensità è schematizzato con il modello probabilistico TCEV (Two-Component Extreme Value). Tale modello ipotizza che i massimi annuali provengano da una miscela di due popolazioni di eventi: una per così dire "ordinaria" (in seguito indicata con il pedice  $b$ ) e l'altra "straordinaria", rappresentata dai valori campionari più elevati (in seguito indicata col pedice

PROGETTAZIONE ATI:

s). Questa ipotesi si basa sul fatto che nelle serie storiche dei massimi annuali delle piogge esistono valori nettamente superiori agli altri (outliers), tali da non sembrare appartenenti alla stessa popolazione dei rimanenti dati.

La TCEV si rappresenta con una funzione di probabilità cumulata del tipo:

$$P(h_\delta) = e^{-e^{-\alpha_{b,\delta}(h_\delta - \varepsilon_{b,\delta})}} e^{-\alpha_{s,\delta}(h_\delta - \varepsilon_{s,\delta})}$$

equivalendo formalmente al prodotto di due funzioni di distribuzione cumulata di Gumbel.

La funzione di probabilità cumulata è esprimibile in un'altra forma effettuando la seguente trasformazione di variabili:

$$\alpha_{b,\delta} = \frac{1}{\Theta_{b,\delta}} \quad \alpha_{s,\delta} = \frac{1}{\Theta_{s,\delta}} \quad \varepsilon_{b,\delta} = \Theta_{b,\delta} \ln \Lambda_b \quad \varepsilon_{s,\delta} = \Theta_{s,\delta} \ln \Lambda_s$$

e:

$$\Theta^* = \frac{\Theta_{s,\delta}}{\Theta_{b,\delta}} \quad \Lambda^* = \frac{\Lambda_s}{\Lambda_b^{1/\Theta^*}}$$

In questo caso, in modo del tutto equivalente, l'espressione precedente si scrive:

$$P(h_\delta) = e^{-\Lambda_b e^{-\left(\frac{h_\delta}{\Theta_{b,\delta}}\right)}} e^{-\Lambda^* \Lambda_b^{1/\Theta^*} e^{-\left(\frac{h_\delta}{\Theta^* \Theta_{b,\delta}}\right)}}$$

e i quattro parametri che caratterizzano il modello diventano  $\Lambda^*, \Lambda_b, \Theta^*, \Theta_{b,\delta}$ .

Si può dimostrare che:

- il coefficiente di asimmetria  $\xi(h_\delta)$  dipende soltanto dai parametri  $\Theta^*$  e  $\Lambda^*$ ;
- il coefficiente di variazione  $\gamma(h_\delta)$  dipende dai parametri  $\Lambda^*, \Lambda_b, \Theta^*$ ;
- la media dipende da tutti e quattro i parametri  $\Lambda^*, \Lambda_b, \Theta^*, \Theta_{b,\delta}$ ;

$$\mu_{h_\delta} = \left[ \ln \Lambda_b + 0.5772 - \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda^{*j}}{j!} \Gamma\left(\frac{j}{\Theta^*}\right) \right] \cdot \Theta_{b,\delta} = \beta \cdot \Theta_{b,\delta}$$

I parametri della TCEV sono, dunque, quattro ( $\Lambda^*, \Lambda_b, \Theta^*, \Theta_{b,\delta}$ ) per cui è elevata l'incertezza della stima ottenuta con le serie storiche in genere disponibili, la cui dimensione campionaria è spesso limitata. Per ridurre l'incertezza si utilizzano tecniche di analisi regionale che consentono di stimare almeno alcuni dei parametri sulla base di tutte le serie storiche ricadenti all'interno di vaste aree indicate come zone e sottozone omogenee.

La procedura VAPI considera tre livelli di regionalizzazione, individuando:

- al 1° livello, regioni omogenee rispetto ai due parametri di forma  $\Theta^*, \Lambda^*$ , da cui deriva l'omogeneità rispetto al coefficiente di asimmetria  $\xi(h_\delta)$ ;
- al 2° livello, zone omogenee anche rispetto al parametro di scala  $\Lambda_b$  (e quindi a B), da cui deriva l'omogeneità rispetto al coefficiente di variazione  $\gamma(h_\delta)$ ;

- al 3° livello, sottozone omogenee rispetto alla dipendenza del parametro  $\Theta_{b,d}$ , e quindi della media  $\mu_{h_s}$ , da alcune grandezze geografiche locali (quota, distanza dal mare, orientamento dei versanti); la grandezza geografica che nell'ambito di una sottozona omogenea ha mostrato di avere maggiore influenza sulle precipitazioni è la quota  $z$  della stazione.

#### **4.1.1. APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA VAPI ALLA ZONA DI INTERESSE**

Sul territorio in questione sono stati eseguiti vari studi nel rispetto dei criteri del Progetto VAPI, ai differenti livelli della procedura gerarchica e per le differenti grandezze idrologiche, a cura dell'U.O. 1.31 (ENEL S.p.a. Unità di Idrologia di Mestre) e dell'U.O. 1.41 (DISTRAT Università di Bologna). L'area di indagine, che comprende parte dell'Emilia-Romagna e l'intera regione Marche (SIMN Bologna), gran parte della regione Toscana (SIMN Pisa), l'intera regione Umbria e parte della regione Lazio (SIMN Roma), è stata inoltre recentemente estesa ad alcuni bacini idrografici di competenza dell'Ufficio Idrografico del Po di Parma, così da ricoprire totalmente la regione Emilia-Romagna.

Una panoramica dettagliata dei risultati ottenuti dalle U.O. sopra ricordate è contenuta nelle seguenti memorie e rapporti tecnici:

- *"Valutazione delle piogge estreme in Romagna e Marche"* [Franchini e Galeati, 1994] e *"La regionalizzazione delle piogge intense mediante modello TCEV. Una applicazione alla regione Romagna Marche"* [Franchini e Galeati, 1994], per quanto riguarda la modellazione statistica dei dati pluviometrici relativi agli eventi massimi annuali osservati nel territorio del compartimento SIMN di Bologna.
- *"Il fattore di riduzione delle piogge all'area. Stima di una legge interpretativa"* [Benaglia, 1996],

per quanto riguarda la modellazione del fattore di riduzione areale delle piogge intense (ARF) osservate nelle stazioni pluviometriche dislocate nel bacino del Reno e bacini limitrofi.

- *"Analisi regionale dei massimi annuali delle portate al colmo per la regione Romagna Marche"* [Franchini e Galeati, 1996] e *"Analisi delle portate massime annuali su intervalli di assegnata durata nei corsi d'acqua della regione Romagna Marche"* [Franchini e Galeati, 1998] per quanto riguarda la modellazione statistica degli eventi idrometrici massimi annuali osservati nel territorio del compartimento SIMN di Bologna; *"La valutazione regionale del rischio di piena con il metodo della portata indice"* [Brath e Franchini, 1998] per quanto riguarda la modellazione statistica degli eventi idrometrici massimi annuali osservati nell'Italia settentrionale; *"La stima della portata indice mediante metodi indiretti"* [Brath et al., 1999b] per quanto riguarda la modellazione della portata indice con riferimento ai dati disponibili sul territorio del compartimento SIMN di Bologna e sui bacini appenninici emiliano affluenti in sponda destra del Po compresi tra i fiumi Scrivia e Panaro sui quali ha competenza l'Ufficio Idrografico per il Po.
- *"Valutazione delle piogge intense nell'Italia centrosettentrionale"* [Brath et al., 1998], per quanto riguarda la modellazione statistica dei dati pluviometrici relativi agli eventi massimi annuali osservati nel territorio di competenza dei compartimenti SIMN di Bologna, Pisa e

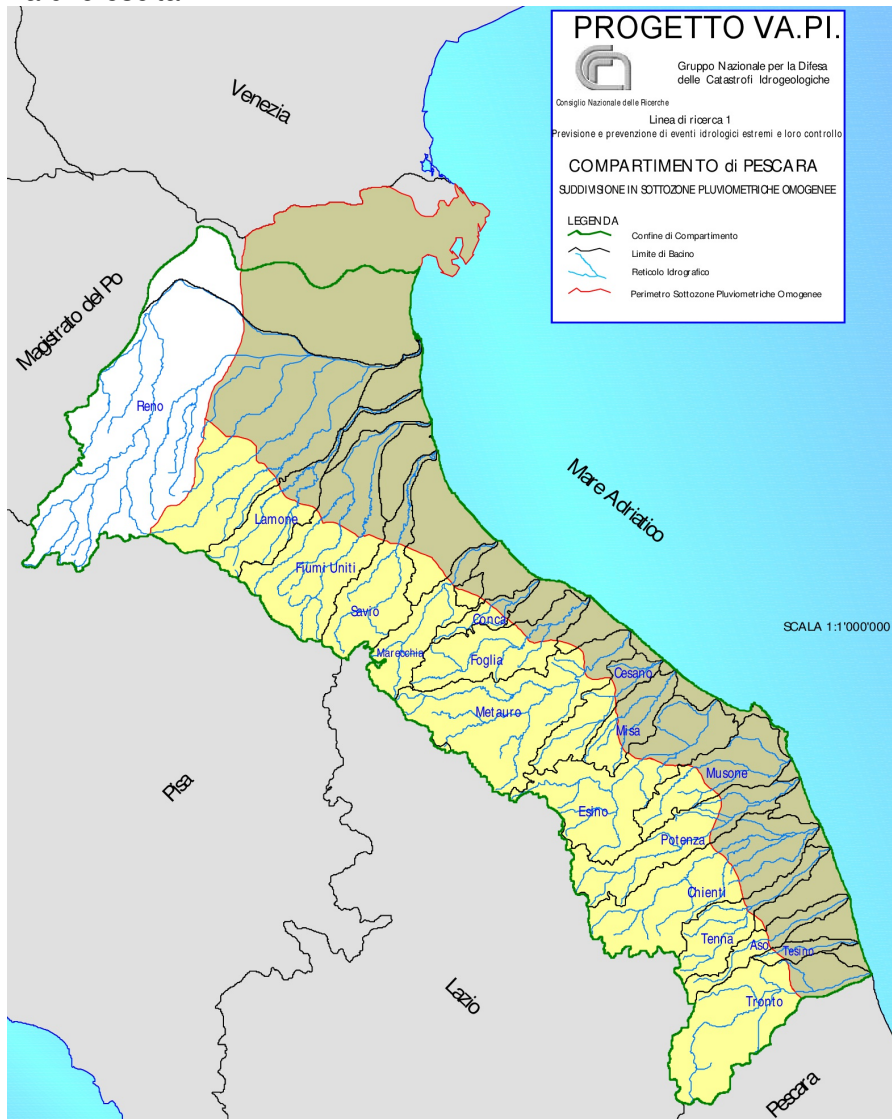
PROGETTAZIONE ATI:



Roma. Questo studio è stato ultimamente affinato considerando anche i dati pluviometrici relativi ai bacini idrografici affluenti in destra Po, dallo Scrivia al Panaro, gestiti dell'Ufficio Idrografico del Po di Parma. I risultati sono raccolti in "Valutazione regionale degli indici di rischio idropluviometrico in alcune regioni dell'Italia centrale e settentrionale" [Brath et al., 1999a] ed in "La valutazione delle piogge intense su base regionale" [Brath e Franchini, 1999].

Gli studi citati ed in particolare "La valutazione delle piogge intense su base regionale" (A. Brath, M. Franchini, 1998) ha come oggetto la particolarizzazione del Metodo VAPI-pioggie al territorio appartenente alle regioni amministrative Emilia-Romagna e Marche.

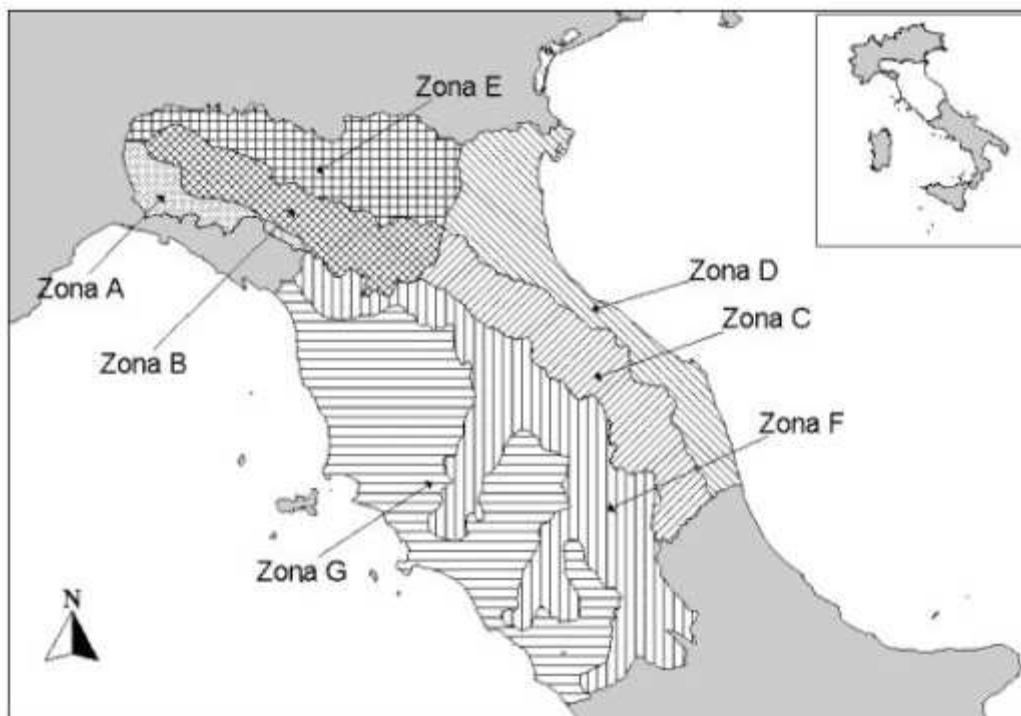
I modelli regionali VAPI si basano sull'ipotesi di esistenza di regioni compatte e idrologicamente omogenee all'interno delle quali le portate di colmo normalizzate rispetto ad una portata di riferimento – la portata indice – siano descrivibili da una stessa distribuzione di probabilità, denominata curva di crescita.



**Suddivisione del territorio in Sottozone Pluviometriche omogenee**

PROGETTAZIONE ATI:

L'intero territorio indagato risulta in definitiva suddiviso in 7 SZO omogenee nei confronti delle precipitazioni intense, visualizzate in figura, le cui curve di crescita, che determinano in



**Suddivisione del territorio in SZO con riferimento alle precipitazioni intense**

maniera univoca la relazione fra periodo di ritorno T e valore del coefficiente probabilistico di crescita  $K_T$ :

$$T = \frac{1}{1 - F_K(k)} = \frac{1}{1 - \exp(-\Lambda_1 e^{-\eta k} - \Lambda_2 \Lambda_1^{1/\theta_*} e^{-\eta k/\theta_*})}$$

risultano completamente definite dai parametri riportati in tabella:

Sottozona	$\Lambda_*$	$\theta_*$	$\Lambda_1$	$\eta$
A	0.109	2.361	24.70	4.001
B	1.528	1.558	39.20	5.335
C	1.528	1.558	25.70	4.913
D	0.361	2.363	29.00	4.634
E	0.044	3.607	30.45	4.135
F	0.144	2.042	33.03	4.321
G	0.221	3.322	30.78	4.628

Un'ulteriore tabella fornisce i parametri per la stima del  $K_T$  in funzione della durata dell'evento:

Sottozona	$\lambda^*$	$\tau^*$	$\lambda_I$	$\omega$	durata (ore)
A	0.109	2.361	24.70	4.001	Tutte
B	1.528	1.558	13.65	4.280	1
			19.35	4.629	3
			26.20	4.932	6
			39.20	5.335	<sup>3</sup> 12 e lg
C	1.528	1.558	13.65	4.280	1
			14.70	4.354	3
			20.25	4.674	6
			25.70	4.913	<sup>3</sup> 12 e lg
D	0.361	2.363	29.00	4.634	Tutte
E	0.044	3.607	13.60	3.329	1
			19.80	3.704	3
			23.65	3.882	6
			30.45	4.135	<sup>3</sup> 12 e lg
F	0.073	1.406	21.01	3.713	1
	0.144	2.042	33.03	4.321	<sup>3</sup> 3 e lg
G	0.131	1.820	16.28	3.571	1
	0.770	2.391	24.71	5.140	3
	0.380	2.592	26.21	4.633	6
	0.303	2.799	30.01	4.680	12
	0.221	3.322	30.78	4.628	24 e lg

Nella tabella seguente si riportano i valori di  $K_T$  ottenuti mediante la relazione precedente per i valori del tempo di ritorno di maggior interesse nella pratica:

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
SZO A	0.93	1.24	1.46	1.70	1.78	1.95	2.04	2.34	2.68	3.18	3.57
SZO B	1.01	1.30	1.51	1.71	1.77	1.90	1.97	2.17	2.37	2.63	2.83
SZO C	1.01	1.33	1.55	1.77	1.84	1.98	2.05	2.27	2.48	2.77	2.99
SZO D	0.87	1.19	1.44	1.72	1.82	2.02	2.13	2.45	2.79	3.23	3.57
SZO E	0.93	1.22	1.43	1.64	1.72	1.89	1.98	2.32	2.78	3.53	4.13
SZO F	0.93	1.23	1.43	1.65	1.72	1.87	1.95	2.20	2.47	2.86	3.17
SZO G	0.88	1.22	1.50	1.87	2.01	2.32	2.47	2.96	3.46	4.12	4.61

#### 4.1.2. STIMA DEL VALORE DELLA PRECIPITAZIONE INDICE

Per ottenere il valore della precipitazione indice di durata "d" cui fare riferimento per calcolare il valore della precipitazione di assegnata durata e tempo di ritorno per la regione in esame, vengono proposte l'utilizzo di una formulazione analoga alla classica curva di possibilità climatica del tipo:

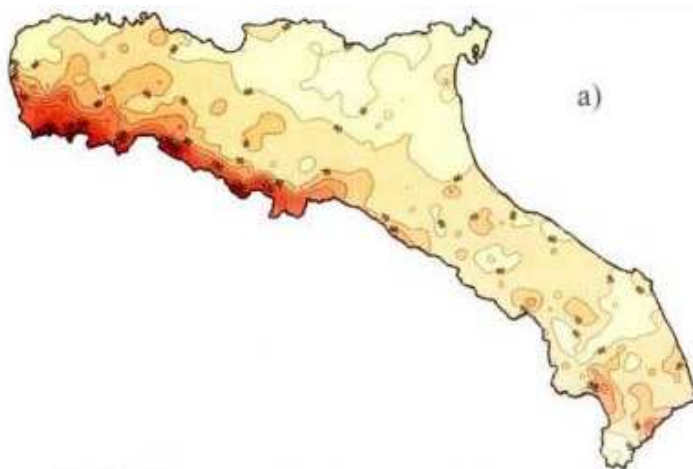
$$\mu(h_d) = \mu(h_1) d^n$$

$$n = (\ln[\mu(h_g)] - \ln[\mu(h_1)] - \ln r) / \ln 24$$

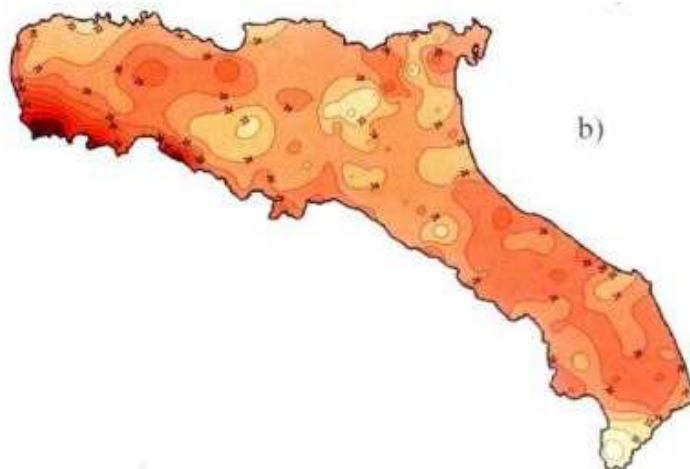
in cui:

- $\mu(h_d)$  = media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione di durata d (ore);
- $\mu(h_g)$  = media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione giornaliera;
- $\mu(h_1)$  = media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione in 1 ora;
- $r = \mu(h_g) / \mu(h_{24})$  (che può essere assunto pari a 0.89 per la regione esaminata).

Per una pratica applicazione è necessario ricorrere alle mappe isoparametriche di  $\mu(h_1)$  e di  $\mu(h_g)$  disponibili per l'intero territorio di indagine (Brath e Franchini (1999) per le SZO A, B, C, D, E, e Brath et al. (1998) per le SZO G e F).



Isolinee delle altezze medie di pioggia massime annuali della durata di 1 giorno



**Isolinee delle altezze medie di pioggia massime annuali della durata di 1 ora**

La stima dell'altezza di precipitazione puntuale di durata  $d$  e tempo di ritorno  $T$  si ottiene moltiplicando il fattore di crescita  $K_T$  opportuno (funzione del Tempo di Ritorno e della SZO), per la precipitazione indice deducibile tramite la relazione precedente. Per tutti i corsi d'acqua di interesse, appartenenti alla "zona omogenea C", sono stati stimati valori dei parametri  $\mu_1$  e  $\mu_G$  pari rispettivamente a 25 e 65.

Si determinano quindi i coefficienti  $a$  e  $n$  delle curve di possibilità pluviometrica per diversi tempi di ritorno riportati di seguito in forma tabellare:

Sottozona	$T_r$ (anni)	$K_T$	$t_c$ (ore)	$\mu_{h1}$	$\mu_{hg}$	$\mu_{hd}$	$a$ (mm/ora)	$n$
C	200	2.48	11.44	25.00	65.00	56.88	<b>62.00</b>	<b>0.337</b>
C	50	2.19	0.08	25.00	65.00	10.81	<b>54.73</b>	<b>0.337</b>
C	25	1.92	0.08	25.00	65.00	10.81	<b>48.02</b>	<b>0.337</b>

#### **4.2. ANALISI STATISTICA DEI DATI PLUVIOMETRICI**

Le curve di caso critico, pur fornendo alcune informazioni sul carattere degli eventi pluviometrici, non danno modo di marcare in forma esplicita ogni evento registrato con il valore della sua frequenza probabile: cioè non consentono di valutare quale sia la ricorrenza media del suo verificarsi. L'analisi statistica degli eventi osservati consente invece di allargare il campo delle previsioni oltre il periodo di osservazione e di associare ad ogni evento un tempo di ritorno  $T_r$ , inteso come periodo, espresso in anni, nel quale mediamente l'evento viene eguagliato o superato. Il metodo utilizzato per l'analisi statistica dei dati di pluviometrici è il cosiddetto metodo di Gumbel. Il metodo di Gumbel, prevede l'applicazione della distribuzione doppio-esponenziale (o di Gumbel, appunto) al campione di dati di precipitazione intesi come variabili indipendenti.

La funzione di probabilità cumulata che la definisce è:

$$F = P(X \leq x) = e^{-e^{-\alpha(x-u)}}$$

Introducendo la variabile ridotta

$$y = \alpha(x - u)$$

Si ha la forma canonica

$$F = e^{-e^{-y}}$$

I parametri  $\alpha$  e  $u$  sono legati alla media e alla varianza della popolazione. Sfruttando le informazioni contenute nel campione a disposizione si procede alla loro stima seguendo diversi metodi. Si ottengono parametri diversi per ogni durata di precipitazione. Per una durata di precipitazione si ordinano le  $N$  altezze di precipitazione in ordine crescente e si numerano da 1 a  $N$ . Ad ogni altezza di precipitazione si associa la relativa frequenza cumulata di non superamento calcolata con la formula di Weibull:

$$F_i = \frac{i}{N + i}$$

Al denominatore si ha  $N+1$  in luogo di  $N$  per evitare che il più grande evento verificatosi sia caratterizzato da una frequenza cumulata di non superamento di una certa altezza di precipitazione (relativa ad una popolazione) con la sua frequenza cumulata di non superamento (che si riferisce invece ad un campione della popolazione suddetta), cioè:

$$F(h_i) \cong F_i$$

La variabile ridotta da associare ad ogni altezza di precipitazione viene quindi calcolata come:

$$F(h_i) = F_i = F(y) = e^{-e^{-y}}$$

e

$$F_i = \frac{i}{N + i}$$

$$y_i = - \ln [-\ln(1/N+1)]$$

Con questa assunzione la variabile ridotta dipende solamente da  $h$  con la relazione lineare:

$$y = \alpha(h - u)$$

La stima dei parametri  $\alpha$  e  $u$  si ottiene applicando il metodo dei momenti, in base al quale i parametri della distribuzione vengono ottenuti eguagliando la media campionaria della distribuzione della popolazione.

Si ottengono quindi per  $\alpha$  e  $u$  le seguenti espressioni:

$$\alpha = \frac{1,283}{S_u}$$

$$u = m_T - \frac{0.577}{\alpha}$$

Introducendo il concetto di Tempo di Ritorno  $T_r$  cioè il tempo che mediamente trascorre tra l'accadimento di un evento e di un altro di entità uguale o superiore, si riesce ad ottenere l'espressione che esprime le altezze di precipitazione in funzione del tempo di ritorno:

$$T(h) = \frac{1}{1-F(h)} \Rightarrow F(h) = \frac{T_r - 1}{T_r}$$

$$e^{-a(x-u)} - \frac{T_r - 1}{T_r} \rightarrow h - u - \frac{1}{\alpha} \ln \left[ -\ln \left( \frac{T_r - 1}{T_r} \right) \right]$$

Grazie all'espressione del metodo di Gumbel è stata ricavata un'espressione analitica della funzione che fornisce il valore di  $h$  in funzione di  $T_r$  per una prefissata precipitazione. Si vuole ora trovare un'espressione analitica che per un dato tempo di ritorno fornisca l'altezza di precipitazione in funzione della durata. A questo scopo si assegna alla funzione  $h(T_r, \tau)$  la seguente forma:

$$h(T_r, \tau) = a (T_r) \tau^n$$

Queste equazioni, una per ogni prefissato tempo di ritorno, sono dette curve di possibilità pluviometrica. L'intensità di pioggia è definita come l'altezza di precipitazione per unità di tempo ed ha la forma:

$$i(T_r, \tau) = \frac{h(T_r, \tau)}{\tau} = a \cdot \tau^{n-1}$$

Passando alla notazione logaritmica l'equazione della curva di possibilità pluviometrica assume la forma lineare e viene ottenuta interpolando i valori per regressione lineare ai minimi quadrati. Gli scarti da minimizzare sono quelli verticali, in quanto la misura di  $h$  soffre maggiori di incertezze rispetto a quella del tempo di pioggia:

$$\log h = \log a + n \log \tau$$

#### 4.2.1. ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI

Per sviluppare l'analisi statistica sopra descritta sono stati considerati per il calcolo della portata di progetto dell'opera di attraversamento sul Fiume Chienti:

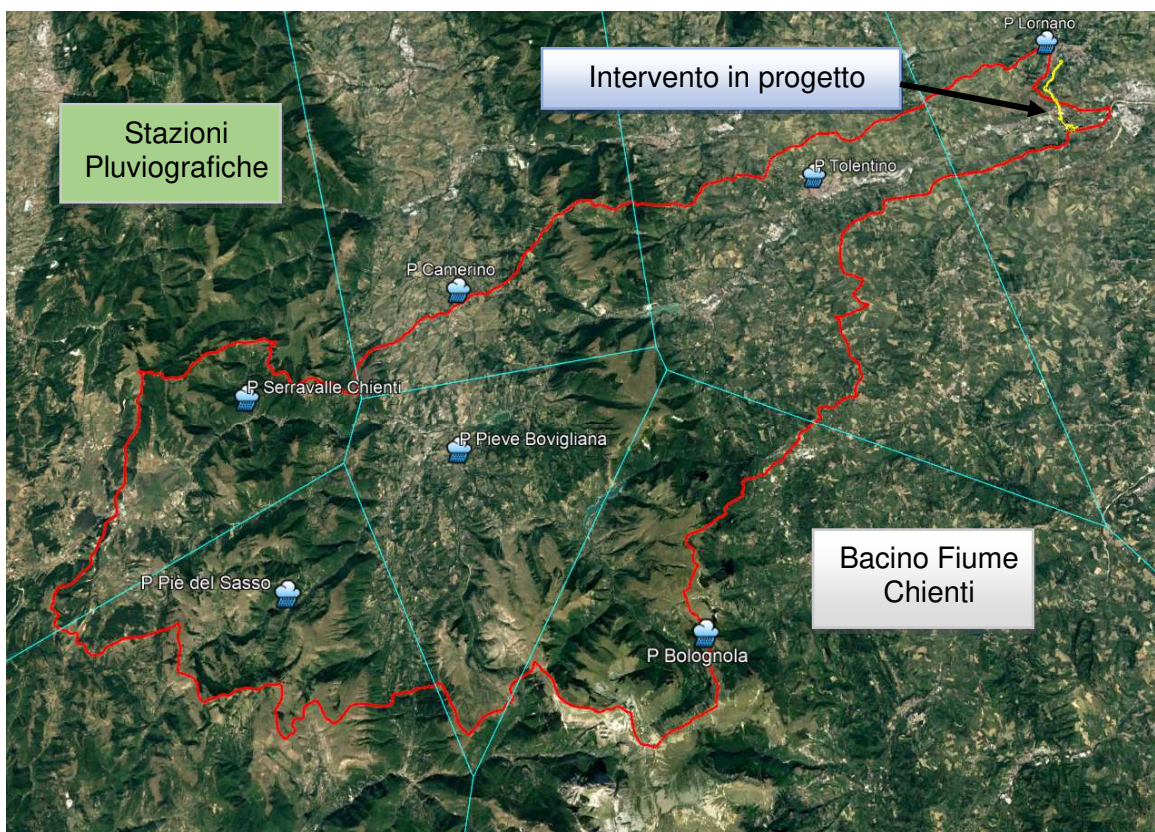
- i dati di pioggia registrati nelle stazioni pluviografiche ricadenti all'interno del bacino idrografico del fiume Chienti e con almeno 20 anni di registrazioni di cui si riportano di seguito, in forma tabellare le caratteristiche,

Stazione pluviometrica	Numero osservazioni	Periodo osservazioni (anni)	Altitudine (m s.l.m.)
Pieve Bovigliana	27	1991-2018	451
Tolentino	78	1935-2018	244
Bolognola	82	1928-2018	1070
Piè del Sasso	49	1949-2008	711

PROGETTAZIONE ATI:

Stazione pluviometrica	Numero osservazioni	Periodo osservazioni (anni)	Altitudine (m s.l.m.)
Serravalle del Chienti	69	1928-2018	647
Camerino	32	1949-2018	581

Si è quindi, proceduto a ripartire il territorio di studio in aree di competenza relative alle stazioni vicine. Per questo scopo, è stato utilizzato il metodo geometrico dei reticoli di Thiessen. Con questo approccio si definisce il punto di mezzo dei segmenti che collegano una stazione con quella contigua e da questo punto si traccia la normale fino ad incontrare la normale relativa ad un'altra congiungente. L'area così delimitata è associata agli eventi che si sono verificati nella stazione posta all'interno del poligono.



Reticolo di Thiessen per le stazioni pluviometriche della zona di studio

I dati di interesse sono i valori storici del massimo annuo giornaliero della pioggia per le durate di precipitazione di 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

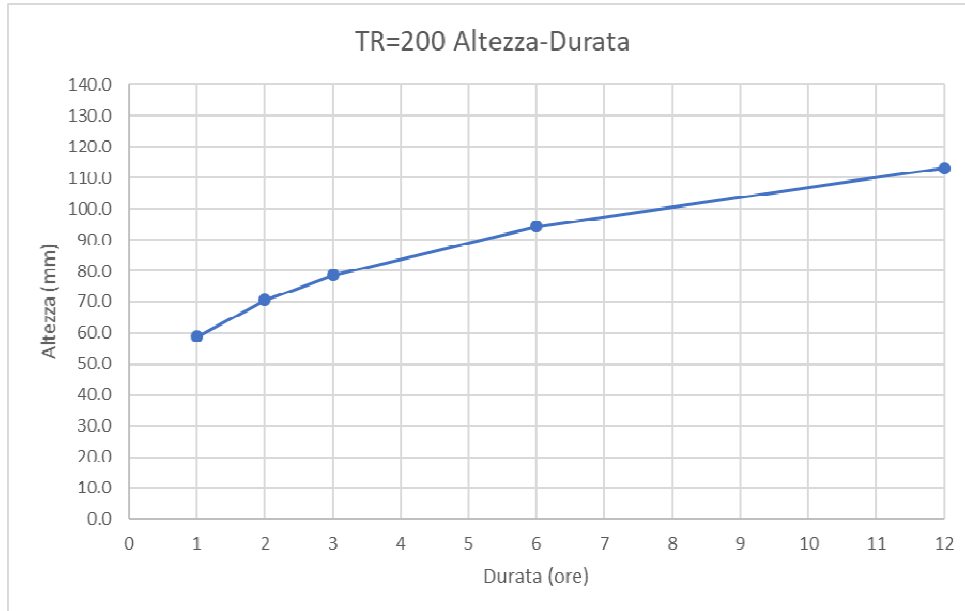
Si riporta la rappresentazione grafica delle curve di possibilità pluviometrica delle stazioni in studio per un tempo di ritorno duecentennale.

Pieve Bovigliana

PROGETTAZIONE ATI:

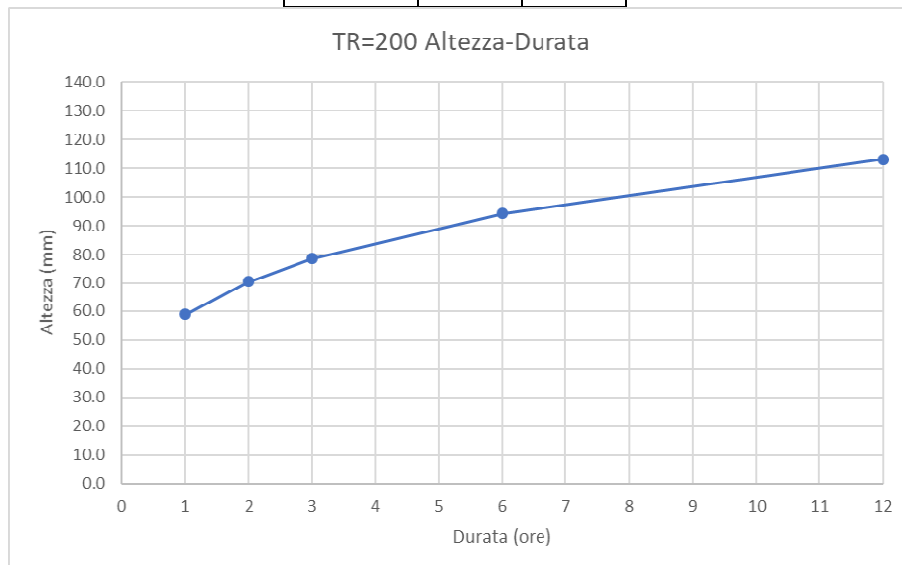


Tr (anni)	a	n
200	58.90	0.263



**Tolentino**

Tr (anni)	a	n
200	66.90	0.234



PROGETTAZIONE ATI:

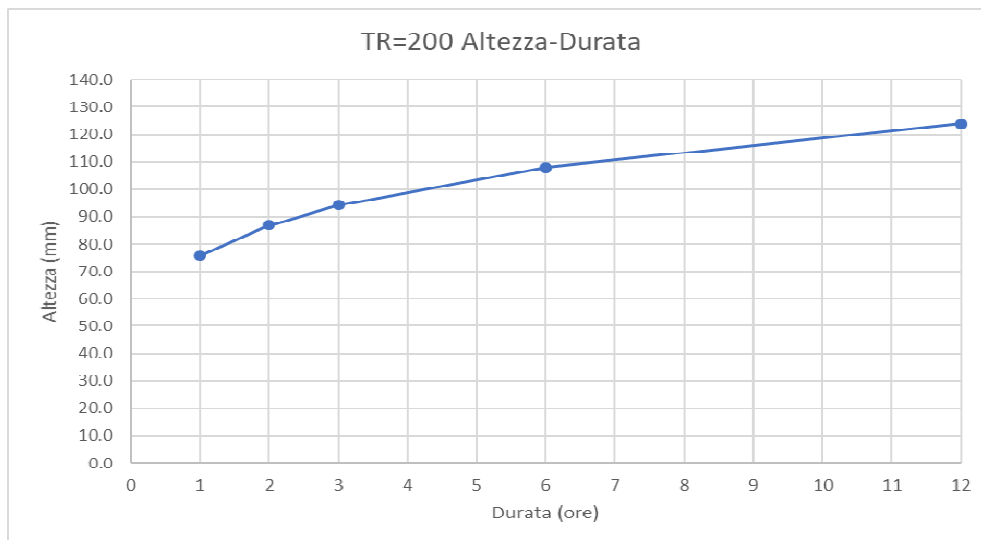
**Bolognola**

Tr (anni)	a	n
<b>200</b>	<b>57.50</b>	<b>0.487</b>



**Piè del Sasso**

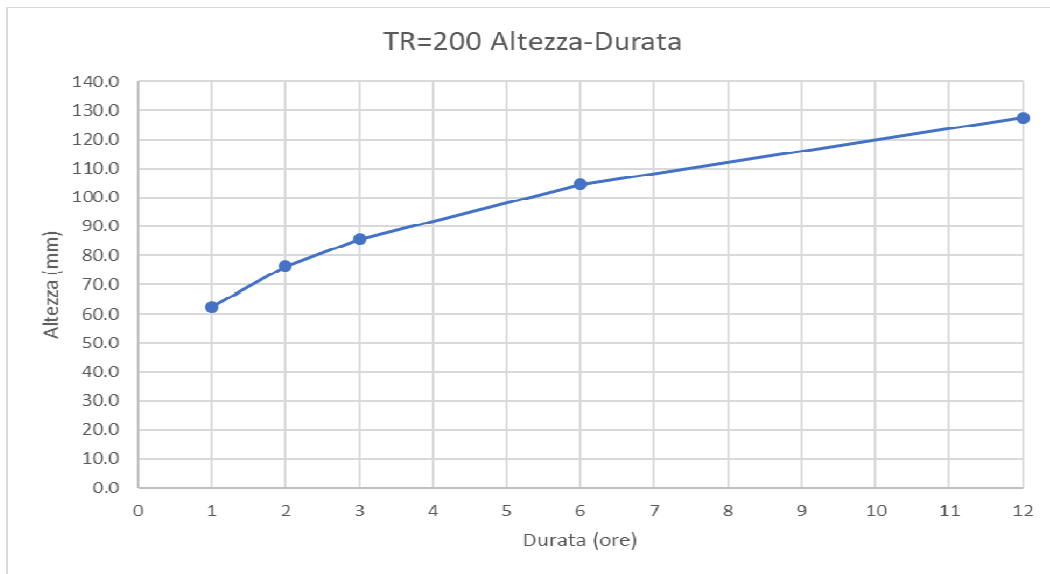
Tr (anni)	a	n
<b>200</b>	<b>75.80</b>	<b>0.198</b>



PROGETTAZIONE ATI:

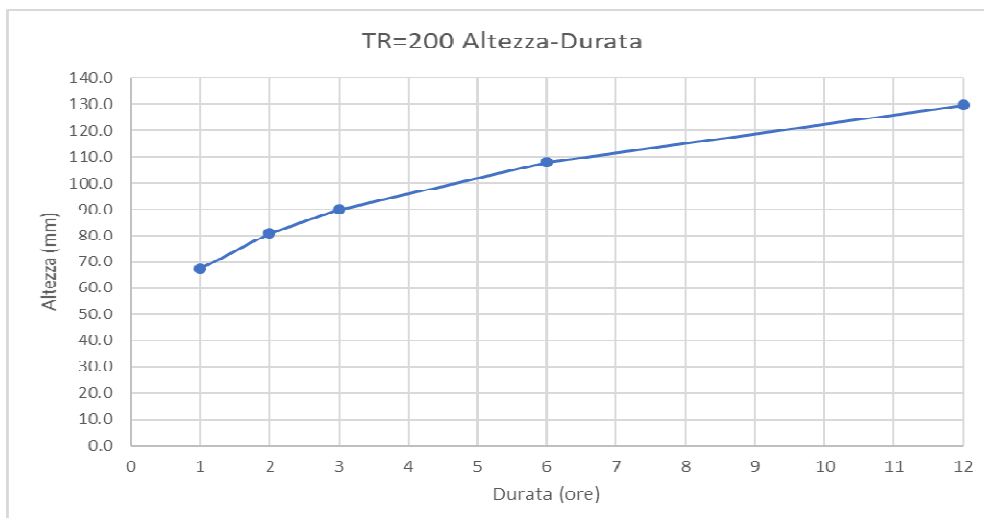
**Serravalle del Chienti**

Tr (anni)	a	n
200	62.50	0.287



**Camerino**

Tr (anni)	a	n
200	67.40	0.263



PROGETTAZIONE ATI:

Per quello che concerne la determinazione delle portate di progetto necessaria:

- alla risoluzione delle interferenze dell'infrastruttura in progetto con il reticolo idrografico minore ;
- alla definizione di quelle per il corretto dimensionamento e verifica degli elementi idraulici appartenenti alla rete di drenaggio stradale, interna ed esterna,

si fa riferimento alla stazione pluviometrica di Lornano di cui si riportano in tabella i valori delle curve di possibilità pluviometrica per diversi tempi di ritorno

Lornano

Tr (anni)	a	n	Piattaforma Stradale	Tp > 1 ora		Tp < 1 ora	
200	56.00	0.296	Tr (anni)	a	n	a	n
50	46.25	0.299	50	46.25	0.296	6.98	0.4072
25	41.32	0.299	25	41.32	0.296	6.24	0.4072

#### 4.3. SCELTA DELLE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA

A conclusione delle analisi precedentemente descritte, sono stati messi a confronto i risultati delle elaborazioni delle diverse metodologie di calcolo utilizzate:

- Metodologia di regionalizzazione VAPI
- Applicazione del metodo di Gumbel ai dati ricavati dagli Annali Idrologici della Regione Marche;

A favore di sicurezza vengono adottate nel prosieguo del presente studio:

- i valori delle curve di possibilità pluviometrica ricavati attraverso l'applicazione della metodologia VAPI che fornisce valori di altezza di pioggia maggiori e quindi a favore di sicurezza, per la stima delle portate al colmo di piena in corrispondenza dell'attraversamento del Fiume Chienti
- i valori delle curve di possibilità pluviometrica ricavati attraverso l'applicazione del metodo di Gumbel per la stima delle portate al colmo in corrispondenza delle sezioni di attraversamento ed in generale, di interferenza con il reticolo idrografico minore, necessarie al dimensionamento corretto delle opere di risoluzione idraulica (ponti e tombini)
- i valori delle C.P.P. ricavati attraverso l'applicazione del metodo di Gumbel per la definizione delle portate di progetto per il corretto dimensionamento e verifica degli elementi idraulici appartenenti alla rete di drenaggio stradale, interna ed esterna.

#### 4.4. DEFINIZIONE DELLE ALTEZZE DI PIOGGIA PER EVENTI DI DURATA INFERIORE ALL'ORA

In bacini di limitata estensione e di relativa rapidità dei deflussi, i tempi di concentrazione sono brevi e di conseguenza le precipitazioni che interessano sono le piogge intense di durata breve con tempi inferiori all'ora. Tale aspetto assume una notevole importanza nel dimensionamento del drenaggio di piattaforma. L'utilizzo della legge valida per durate maggiori dell'ora risulta spesso troppo cautelativa e poco rappresentativa.

Nel caso oggetto della presente relazione per il calcolo delle curve di probabilità pluviometrica, per tempi inferiori ad un'ora, è stata utilizzata la formula di Bell (Generalized Rainfall Duration Frequency Relationship" – Journal of the Hydraulics Division – Proceedings of American Society of Civil Engineers – volume 95, issue 1 – gennaio 1969).

Bell ha osservato che i rapporti  $r_d$  tra le altezze di durata  $\tau$  molto breve ed inferiori alle due ore e l'altezza oraria sono relativamente poco dipendenti dalla località in cui si verificano. In relazione alla modesta variazione dei rapporti di intensità durata correlata al tempo di ritorno, ha proposto la seguente relazione che ben si adatta ai dati osservati dove il rapporto tra l'altezza di pioggia  $h$ , con  $t$  minore di 60 minuti, e l'altezza di pioggia  $h$  di durata 60 minuti, a parità di tempo di ritorno  $T$ , è dipendente solo dalla durata  $t$  espressa in minuti:

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = f(t)$$

Avendo indicato con  $f$  un simbolo funzionale.

Studi successivi hanno dimostrato che il legame funzionale può essere espresso nella semplice forma:

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = \left(\frac{t}{60}\right)^s$$

In cui  $t$  è la durata dell'evento meteorico di durata inferiore all'ora, espressa in minuti,  $s$  è un coefficiente che assume un diverso valore numerico in dipendenza della regione in esame.

#### 4.5. ALTEZZA DI PIOGGIA E COEFFICIENTE DI RIDUZIONE AREALE

È comune esperienza che le piogge di elevata intensità si concentrino in aree piccole, e che, a parità di durata e a parità di tempo di ritorno, l'altezza di precipitazione decresca al crescere dell'area. Al fine di tenere conto di tale fenomeno, per i bacini di estensione superiore ad 1 km<sup>2</sup>, l'altezza di pioggia di progetto è stata calcolata moltiplicando le altezze di pioggia puntuali (vedi Par. 4) per il coefficiente di riduzione areale definito dalla seguente relazione:

$$ARF(S, d) = 1 - \left(1 - \exp(-c_1 \cdot S) \cdot \exp(-c_2 \cdot d^{c_3})\right)$$

I coefficienti  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$  sono stati stimati con riferimento ad un'area rappresentata dal bacino del fiume Reno chiuso a Casalecchio ( $S=1051$  km<sup>2</sup>), utilizzando 5 anni di dati di precipitazioni orarie rilevate in 30 stazioni pluviografiche. I valori dei coefficienti sono:

- $C_1 = 0.01298$
- $C_2 = 0.67$
- $C_3 = 0.33$

## 5. INDIVIDUAZIONE E CARATTERIZZAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI

Per la determinazione delle portate di progetto sono stati inizialmente individuati i bacini afferenti alla nuova infrastruttura di progetto in corrispondenza dei punti di intersezione tra quest'ultima ed i corsi d'acqua ad essa interferenti (si vedano elaborati MC.D.P.GENER.00.IDR.COR.001 "Corografia dei bacini idrografici")

I dati utilizzati per la definizione dei sottobacini e delle loro caratteristiche vengono di seguito elencati:

- modello digitale del terreno con risoluzione 2.00m x 2.00m disponibile nel SITR\_Sistema Informativo territoriale Regionale della Regione Marche;
- carta Tecnica Regionale in scala 1:10000;
- carta dell'uso del Suolo (Corinne Land Cover) in formato vettoriale (shapefile).

Per tutti i bacini oggetto del presente studio sono state determinate, attraverso l'uso di un software Gis Open Source (QGIS), in grado di processare dati territoriali ed eseguirne analisi di tipo spaziale, le distribuzioni rispetto alle superfici dei bacini stessi delle principali caratteristiche morfologiche, fisiche ed idrologiche utili o necessarie allo studio idrologico oggetto del presente elaborato.

In particolare sono state determinate e riportate in forma tabellare:

- area del bacino idrografico;
- lunghezza dell'asta idrografica principale;
- quota della sezione di chiusura e la quota massima del bacino;
- pendenza dell'asta idrografica principale;
- pendenza media del bacino idrografico

Bacino	Pk (Km)	Area (Km <sup>2</sup> )	L (Km)	H <sub>max</sub> (m)	H <sub>min</sub> (m)	H <sub>med</sub> (m)	P (%)
Fiume Chienti	0+550	725.56	79.43	2029	104	719	1.0
1	0+800	1.83	1.790	264	117	170	8.2
2	1+371	0.04	0.165	159	129	135	18.2
3	1+603	0.07	1.370	185	143	164	3.1
4	3+348	0.25	0.209	254	163	220	43.5
5	3+710	0.08	0.381	245	174	203	18.6
6	3+845	0.08	0.263	235	178	198	21.7
7	4+084	0.15	0.216	246	189	225	26.4
8	4+504	0.05	0.170	245	204	229	24.1
9	4+632	0.07	0.146	235	201	220	23.3
10	4+965	0.14	0.400	235	200	227	8.8

## 6. DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI PROGETTO

La determinazione delle portate si basa sulla costruzione di un modello matematico di trasformazione afflussi - deflussi capace di correlare l'intensità dell'evento meteorico con l'idrogramma di piena generato. L'utilizzo di un modello matematico possiede anche il vantaggio di restituire non solo la massima portata al colmo, ma anche il completo andamento temporale del fenomeno, la forma dell'idrogramma e il volume complessivo.

Il problema della trasformazione afflussi - deflussi viene generalmente scomposto in due fasi successive. La prima si propone di determinare la precipitazione efficace ovvero la frazione di

PROGETTAZIONE ATI:

pioggia totale che defluisce effettivamente attraverso la rete idrografica mentre la seconda simula la propagazione dei deflussi così ottenuti lungo la rete idrografica fino alla determinazione dell'andamento temporale delle portate transitate attraverso la sezione di chiusura del bacino.

Il problema della trasformazione afflussi – deflussi viene generalmente scomposto in due fasi successive. La prima si propone di determinare la precipitazione efficace ovvero la frazione di pioggia totale (coefficiente di deflusso) che defluisce effettivamente attraverso la rete idrografica mentre la seconda simula la propagazione dei deflussi così ottenuti lungo la rete idrografica fino alla determinazione dell'andamento temporale delle portate transitate attraverso la sezione di chiusura del bacino.

Attualmente esiste un numero elevato di modelli concettuali in grado di simulare il comportamento idrologico del suolo. La pioggia efficace viene determinata attraverso la valutazione del coefficiente di deflusso che può essere ipotizzato costante nel tempo, nei modelli più semplificati come nel metodo razionale, o variabile con il procedere dell'evento meteorico.

Molto utilizzati sono i modelli basati sulla ricostruzione dell'idrogramma unitario istantaneo (IUH) caratteristico che rappresenta la risposta del bacino ad impulso di precipitazione efficace perfettamente distribuita sull'intera superficie del bacino e avente volume unitario. Una volta definito l'IUH la ricostruzione dell'idrogramma reale avviene discretizzando lo ietogramma in ingresso in impulsi elementari e sommando le risposte ottenute da ciascuno di essi (integrale di convoluzione). Una volta definito il valore dei parametri richiesti dal modello la sua attendibilità viene verificata, quando possibile, attraverso la procedura di taratura.

Nel caso in esame l'impossibilità di procedere con questa procedura, a causa dell'assenza di misurazioni contemporanee pluvi-idrometriche che non ha permesso la ricostruzione di eventi di piena reali, ha consigliato di escludere l'utilizzo di quei modelli basati su grandezze non misurabili direttamente o indirettamente e la cui determinazione può avvenire esclusivamente dal confronto delle simulazioni con l'andamento degli eventi reali. Pertanto, si è data preferenza ai modelli cosiddetti "fisicamente basati" che consentono di sfruttare le caratteristiche morfometriche, litologiche e pedologiche del bacino per la determinazione delle grandezze fisiche significative.

Nel presente studio per quanto riguarda la determinazione della pioggia efficace ci si è avvalsi della metodologia proposta dal Soil Conservation Service nota come il metodo del Curve Number.

Per la stima delle portate di progetto nell'ambito del presente studio si è così proceduto:

- ai fini dell'analisi del comportamento idrologico del bacino del Fiume Chienti e della determinazione dell' idrogramma di piena di progetto è stato implementato il modello matematico HEC-HMS nella versione 4.3 (si veda Alleg.1), modello idrologico sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center della U.S. Army Corps of Engineers, che permette di simulare i processi idrologici che influiscono sulla formazione e sulla propagazione dei deflussi di piena a partire dalla combinazione di differenti algoritmi di calcolo e sulla base della schematizzazione del bacino di indagine in diversi elementi variamente connessi tra loro dal punto di vista idrologico;
- mentre per bacini relativi ai corpi idrici minori interferenti con l'infrastruttura in progetto e per quelli relativi alla piattaforma stradale si è adottato il metodo razionale.

### 6.1. TEMPO DI CORRIVAZIONE

La determinazione del valore del tempo di corrivazione, in funzione delle caratteristiche fisiografiche dei bacini, è eseguita:

- per bacini con estensione areale superiore ai 75 km<sup>2</sup> – ricorrendo all'uso della formula di Giandotti

PROGETTAZIONE ATI:

$$t_{cG} = (4\sqrt{A} + 1,5L)/(0,8\sqrt{\Delta H})$$

dove:

- $A$  = superficie del bacino sotteso dall'attraversamento [kmq];  
 $L$  = lunghezza dell'asta principale [km];  
 $\Delta H$  = dislivello medio del bacino imbrifero [m].

- per bacini con estensione areale  $A$  tra  $1 < A < 75 \text{ km}^2$  – calcolo dei tempi di corrivazione mediante la seguente formula

$$t_c = t_{cG} \frac{(A - 1)}{74} + t_{cK} \frac{(75 - A)}{74}$$

dove:

- $A$  = superficie del bacino sotteso dall'attraversamento [km<sup>2</sup>];  
 $t_{cG}$  = tempo di corrivazione stimato con la formula di Giandotti [ore];  
 $t_{cK}$  = tempo di corrivazione stimato con la formula di Kirpich [ore].

- per bacini con estensione areale  $A$  minore ad  $1 \text{ km}^2$  – calcolo dei tempi di corrivazione mediante la formula di Kirpich

$$t_{cK} = 0,95 \cdot (L)^{0,1495} \cdot S^{-0,3885}$$

dove:

- $L$  = lunghezza dell'asta principale [m];  
 $S$  = pendenza media del bacino .

Nel caso particolare in cui il tempo di corrivazione del bacino idrografico in studio risulti inferiore ai 10 minuti si è assunto un  $T_c$  di progetto pari a 10 min ovvero 0.17 ore.

Bacino	Pk (Km)	T <sub>c</sub> (ore)
Fiume Chienti	0+550	11.44
1	0+800	0.28
2	1+371	0.17
3	1+603	0.32
4	3+348	0.17
5	3+710	0.17
6	3+845	0.17
7	4+084	0.17
8	4+504	0.17
9	4+632	0.17
10	4+965	0.17

PROGETTAZIONE ATI:



## 6.2. COEFFICIENTE DI DEFLUSSO

Il coefficiente di deflusso relativo a ciascun bacino idrografico di interesse è stimato mediante il metodo del Curve Number, proposto dal Soil Conservation Service (1972), il quale si basa sull'assunzione che il volume specifico (altezza) di pioggia netta (efficace)  $P_{net}$  risulta legato al volume specifico (altezza) di pioggia lorda  $P$  (pioggia effettiva) caduta nel medesimo intervallo temporale dalla relazione:

$$P_{net} = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \text{ [mm]}$$

nella quale  $S$  è il massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizione di saturazione ed  $I_a$  è la cosiddetta perdita iniziale, vale a dire quel valore limite di altezza di pioggia che il terreno può trattenere nella fase iniziale del fenomeno senza che si abbia creazione di deflusso; il parametro  $S$  corrisponde al volume idrico trattenuto dal terreno e dalla vegetazione, e quindi sottratto al deflusso superficiale dopo l'istante in cui si ha  $P > I_a$ ; fino all'istante in cui non si ha  $P < I_a$  il deflusso superficiale è da ritenersi praticamente assente.

In realtà con l'introduzione della perdita iniziale  $I_a$  si vuole tenere conto anche di quel complesso di fenomeni, quali l'intercettazione da parte della vegetazione e l'accumulo nelle depressioni superficiali del terreno, che ritardano il verificarsi del deflusso superficiale. Le perdite iniziali  $I_a$  vengono di norma assunte pari ad una frazione di  $S$  come riportato nella seguente formulazione classica:

$$I_a = 0.2 \cdot S \text{ [mm]}$$

che risulta verificata in buona approssimazione.

La valutazione del valore di  $S$  può invece essere ricondotta a quella dell'indice CN (Curve Number), cui esso risulta legato dalla relazione:

$$S = 254 \left( \frac{100}{CN} - 1 \right) \text{ [mm]}$$

L'indice CN è un numero adimensionale, compreso fra 0 e 100, funzione della permeabilità della litologia superficiale, dell'uso del suolo e del grado di saturazione del terreno prima dell'evento meteorico. Il Soil Conservation Service (SCS) sulla base della capacità di assorbimento del terreno nudo a seguito di prolungato adacquamento, ha classificato i vari tipi di suolo in quattro gruppi (A, B, C, D):

- Gruppo A – Scarsa potenzialità di deflusso: comprende forti spessori di sabbia con scarsissimo limo e argilla; anche forti spessori di ghiaie profonde, molto permeabili.

tipo idrologico di suolo (S.C.S/C.N.)	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla, anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità d'infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili contenenti considerevoli quantità d'argilla e colliodi, anche se meno del gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità d'infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso medio-alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza delle superfici.

PROGETTAZIONE ATI:

- Gruppo B – Potenzialità di deflusso moderatamente bassa: comprende la maggior parte degli strati sabbiosi meno spessi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
- Gruppo C – Potenzialità di deflusso moderatamente alta: comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
- Gruppo D – Potenzialità di deflusso molto elevata: comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.

Per tali gruppi si riportano i valori del parametro CN corrispondenti a diverse tipologie di utilizzo del suolo.

Tipologia di Uso del Territorio	Tipo idrologico Suolo			
	A	B	C	D
<b>Terreno coltivato</b>				
in presenza di pratiche di conservazione del suolo	62	71	78	81
in assenza di pratiche di conservazione del suolo	72	81	88	91
<b>Terreno a pascolo</b>				
in cattive condizioni	68	79	86	89
in buone condizioni	39	61	74	80
<b>Terreni boscosi o forestati</b>				
in presenza di copertura rada e senza sottobosco	45	66	77	83
in presenza di copertura fitta e con sottobosco	25	55	70	77
<b>Spazi aperti, prati rasati, parchi</b>				
con copertura erbosa superiore al 75% dell'area	39	61	74	80
con copertura erbosa compresa tra il 50 ed il 75% dell'area	49	69	79	84
con copertura erbosa inferiore al 50% dell'area	68	79	86	89
<b>Aree commerciali (area impermeabile 85%)</b>	89	92	94	95
<b>Distretti industriali (area impermeabile 72%)</b>	81	88	91	93
<b>Aree residenziali</b>				
impermeabilità media 65%	77	85	90	92
impermeabilità media 38%	61	75	83	87
impermeabilità media 30%	57	72	81	86
impermeabilità media 25%	54	70	80	85
impermeabilità media 20%	51	68	79	84
impermeabilità media 12%	46	65	77	82
<b>Parcheggi, tetti, autostrade</b>	98	98	98	98
<b>Strade</b>				
pavimentate o asfaltate, dotate di drenaggio	98	98	98	98
con letto in ghiaia	76	85	89	91
battute in terra	72	82	87	89

**Valori del "Curve Number" CN per i diversi tipi di suolo in funzione dell'uso del suolo per condizioni di umidità iniziale (antecedent moisture conditions – AMC) medie (classe II)**

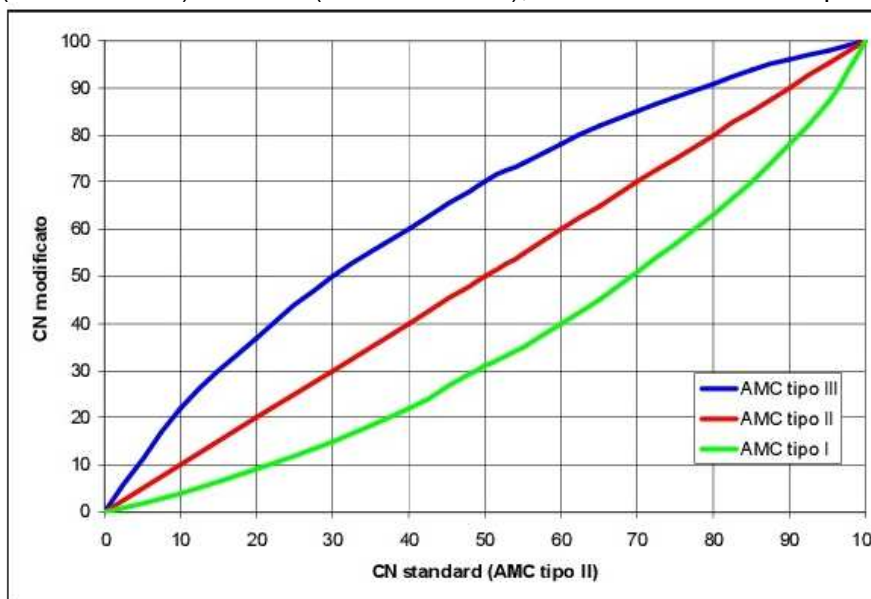
I valori del CN riportati nella tabella precedente si riferiscono ad una condizione di umidità del suolo all'inizio dell'evento meteorico di tipo standard, precisamente quella intermedia indicata come AMC II (Antecedent Moisture Condition II).

Poiché il rifiuto del terreno è un fenomeno dinamico, che dipende dallo stato del sistema, ovvero dallo stato di imbibimento del bacino, si assume che il valore di CN possa variare in relazione alle condizioni iniziali di imbibimento all'atto della piena. Lo stato di imbibimento viene espresso, in modo quali-quantitativo, in base ad un indice di pioggia, dato dall'altezza totale di pioggia caduta nei cinque giorni che precedono l'evento di piena,  $API_5$ . A seconda del valore di  $API_5$ , vengono identificate le tre classi AMC I, II e III, che rappresentano rispettivamente terreno inizialmente asciutto, mediamente imbibito e fortemente imbibito.

CLASSE AMC	Altezza di pioggia nei 5 giorni precedenti (mm)	
	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I - asciutta	< 12.7	< 35.5
II - media	12.7 - 28.0	35.5 - 53.3
III - umida	> 28.0	> 53.3

**Definizione della classe di umidità in base al parametro API<sub>5</sub>**

Noto il valore di CN per le condizioni medie di imbibimento, per passare a condizioni di umidità iniziale asciutte (classe AMC I) o umide (classe AMC III), si utilizzano le curve riportate di seguito.



**Curve di conversione dei valori di CN per le diverse condizioni di umidità del suolo antecedenti l'evento**

Tali curve possono essere interpolate mediante le seguenti relazioni:

$$CN(I) = \frac{4.2 \cdot CN(II)}{10 - 0.058 \cdot CN(II)}$$

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

Nel caso di terreni variegati possono essere identificate alcune categorie fondamentali per definire un valore globale del CN, pesato in ragione dell'estensione delle sottozone con le quali si è suddiviso il bacino.

Una volta calcolata la pioggia netta (efficace)  $P_{net}$ , il coefficiente di deflusso è pari a:

$$c = \frac{P_{net}}{P}$$

Nel caso in esame, al fine di definire il CN per le varie porzioni dei bacini in studio, sono stati analizzati i seguenti documenti:

- "Corinne Land Cover" anno 2007 \_ Shapefile fornito dalla Regione Marche;

PROGETTAZIONE ATI:

- Foto satellitari, al fine di valutare eventuali variazioni significative rispetto a quanto riportato nelle suddette carte;
- *“Studio per la mitigazione del rischio idrogeologico Indagine condotta sui bacini idrografici dei fiumi Misa, Esino, Musone, Potenza, Chienti e Tenna \_ Analisi Idrologica Idraulica”* - Consorzio di Bonifica delle Marche - Università di Camerino;
- *Runoff Curve Number method: examination of the initial abstraction ratio\_D.E. Woodward-R.Jiang-A. Hjelmfelt jr.et altri;*
- *Carta Geolitologica d'Italia \_Portale Cartografico Nazionale Ministero dell'Ambiente.*

Pe quello che concerne la stima del rapporto della tra le perdite iniziali ed il volume specifico di saturazione  $I_a/S$  (Initial Abstraction ratio):

- nel caso del Fiume Chienti e del Bacino 1 a pk 0+881 si utilizza la formulazione classica 0.2,
- per tutti gli altri bacini viste le caratteristiche morfologiche (bacini ad elevata pendenza) si adotta un valore del rapporto  $I_a/S$  pari a 0.05 più adatto a tale tipologia.

Con riferimento ai bacini idrografici in studio, si è proceduto all'individuazione delle categorie fondamentali per definire un valore globale del CN, pesato in ragione dell'estensione areale delle sottozone nelle quali si sono suddivisi gli stessi. In relazione alla capacità di deflusso “il tipo di suolo” su cui risultano impostati i bacini di indagine è stato individuato nel tipo B (Media potenzialità di deflusso superficiale).

Per tutti i bacini in studio si è supposta, in favore di sicurezza, una condizione iniziale di imbibimento corrispondente a valori di CN (III). In particolare nel caso del Bacino del Fiume Chienti è stato utilizzato come strumento di calibratura per la stima del CN lo studio sviluppato dal Consorzio di Bonifica delle Marche e Università di Camerino citato in precedenza.

Si riportano nella tabella seguente i risultati delle elaborazioni:

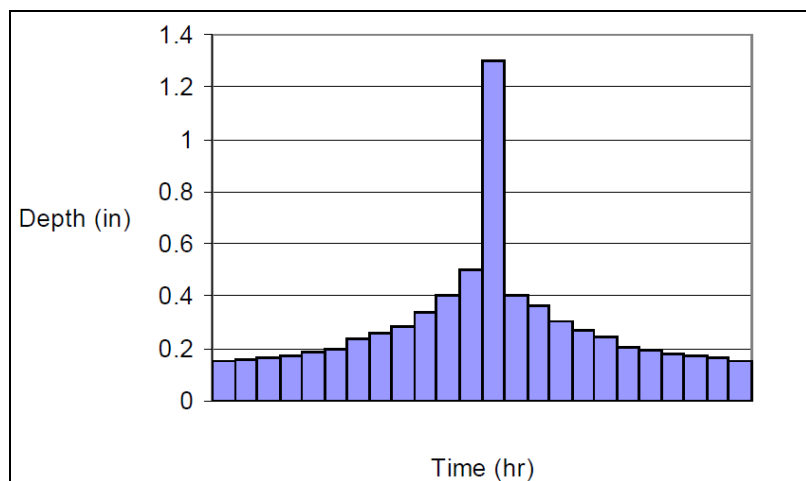
Bacino	Pk (Km)	CN II	CN III	$\phi$
Fiume Chienti	0+550	59.6	77.4	0.56
1	0+800	66.8	82.4	0.18
2	1+371	67.8	83.0	0.27
3	1+603	67.8	83.0	0.35
4	3+348	66.3	82.1	0.25
5	3+710	68.0	83.2	0.27
6	3+845	68.0	83.2	0.27
7	4+084	69.6	84.2	0.29
8	4+504	68.2	83.3	0.27
9	4+632	70.2	84.6	0.30
10	4+965	70.2	84.6	0.30

### 6.3. IETOGRAMMA DI PROGETTO

La determinazione dello ietogramma di progetto per un prefissato tempo di ritorno richiede l'individuazione della durata dello ietogramma nonché della distribuzione temporale delle altezze di pioggia stimati dalla corrispondente linea segnalatrice di possibilità pluviometrica.

La precipitazione in ingresso al modello di trasformazione afflussi-deflussi considerata nella presente applicazione è una pioggia di durata  $d$  maggiore o uguale tempo di corrivazione,  $t_c$ , del sottobacino in esame e di assegnato tempo di ritorno, pari al tempo di ritorno dell'idrogramma di piena che si vuole determinare.

Per il bacino del fiume Chienti viene adottato uno ietogramma di progetto del tipo blocchi alternati (pluviogramma Chicago discretizzato) con picco centrale riportato nella figura seguente.



**ietogramma Chicago a blocchi alternati**

Con questo metodo si calcolano direttamente le altezze di pioggia incrementali corrispondenti ad  $n$  intervalli di tempo  $\Delta t$  successivi in cui è stata suddivisa la durata totale della pioggia, nel caso in esame si assume un  $T_{\text{Pioggia}}$  pari a 12 ore (scelta a favore di sicurezza molto maggiore dei tempi di risposta dei bacini idrografici in esame) ed un  $\Delta t = 5$  minuti.

Dalla curva di possibilità pluviometrica si ricavano le altezze di pioggia  $h_{t,Tr}$  per ciascuna durata  $\Delta t$ ,  $2\Delta t$ ,  $3\Delta t \dots n\Delta t$  (altezze cumulate) ottenute utilizzando i parametri  $a$  e  $n$  determinati nel Capitolo 4.

Facendo la differenza tra le altezze di pioggia corrispondenti a due durate successive si ottiene la pioggia incrementale relativa a ciascun intervallo considerato (blocchi). I blocchi così ottenuti vengono poi riordinati in una sequenza temporale con la massima intensità in corrispondenza dell'intervallo di picco. I blocchi rimanenti vengono disposti alternativamente a cavallo dell'intervallo di picco.

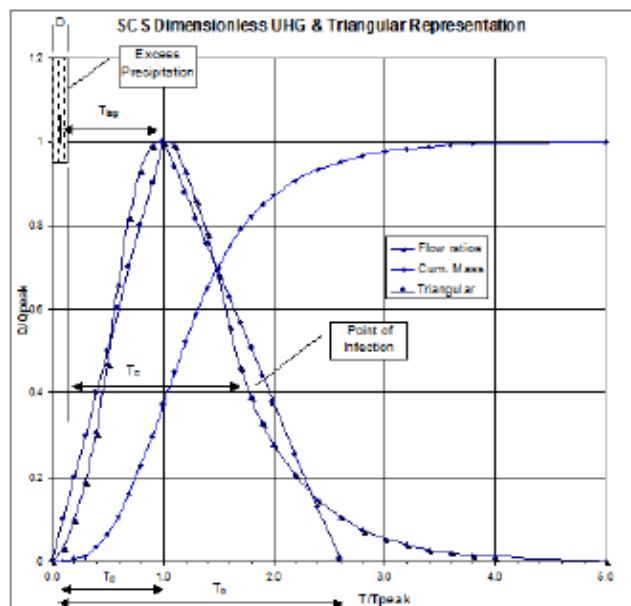
### 6.4. Trasformazione della pioggia efficace in deflusso

La pioggia efficace, determinata attraverso il metodo descritto, viene trasformata in deflusso lungo la rete idrografica utilizzando la metodologia dell'idrogramma unitario, che descrive matematicamente la risposta idrologica di un bacino idrografico ad un impulso di pioggia efficace unitario. Assumendo che l'idrogramma unitario sia invariante con il progredire della precipitazione (condizione di idrogramma stazionario) e indipendente dalla sua intensità (condizione di idrogramma lineare) la risposta del bacino ad uno ietogramma qualsiasi può essere determinata come semplice combinazione lineare di tutti gli impulsi unitari.

PROGETTAZIONE ATI:

Un idrogramma che rispetta queste ipotesi viene descritto da una funzione,  $U(t)$ , per la quale si possono introdurre e descrivere alcune definizioni. L'idrogramma presenta una fase di risalita di durata ( $t_p$ , tempo di picco) al termine della quale raggiunge la massima intensità di picco ( $h_p$ ). La durata dell'idrogramma unitario ( $t_B$ , tempo di base) coincide con il tempo necessario affinché la precipitazione caduta nel punto più lontano del bacino faccia sentire i suoi effetti alla sezione di chiusura (tempo di corrivazione) e rappresenta la memoria del sistema. Il momento del primo ordine (baricentro) dell'idrogramma viene detto tempo di ritardo  $t_L$  (time lag).

Nel caso in esame, la risposta idrologica del bacino idrografico del fiume Chienti è stata calcolata utilizzando l'idrogramma unitario del Soil Conservation Service (SCS). Si tratta di un modello parametrico basato su di un idrogramma unitario adimensionale, che dipende dalla portata al colmo dell'idrogramma unitario,  $U_P$ , e dal tempo di picco,  $t_p$ .



**Idrogramma IUH SCS**

Dalle ricerche del SCS risulta che la portata al colmo dell'idrogramma unitario,  $U_P$ , e il tempo di picco,  $t_p$ , sono legati dalla seguente relazione:

$$U_P = C \frac{A}{t_p} \quad \text{Eq. 8.1}$$

nella quale

A= area del sottobacino in esame

C= costante che dipende dalle unità di misura utilizzate (2.08 nel SI)

Il tempo di picco,  $t_p$ , è dato dalla seguente espressione:

$$t_p = \frac{\Delta t}{2} + t_L \quad \text{Eq. 8.2}$$

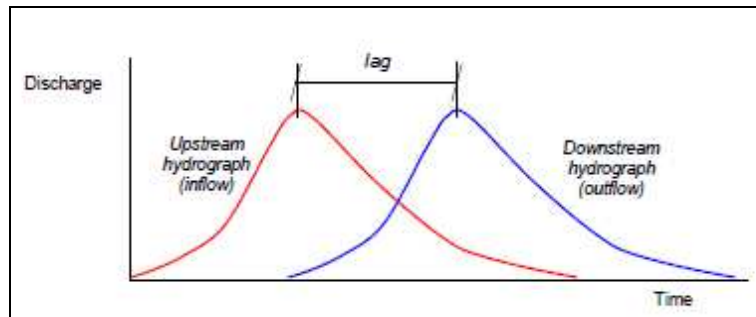
In cui

$\Delta t$  = durata della precipitazione efficace

$t_L$  = time lag

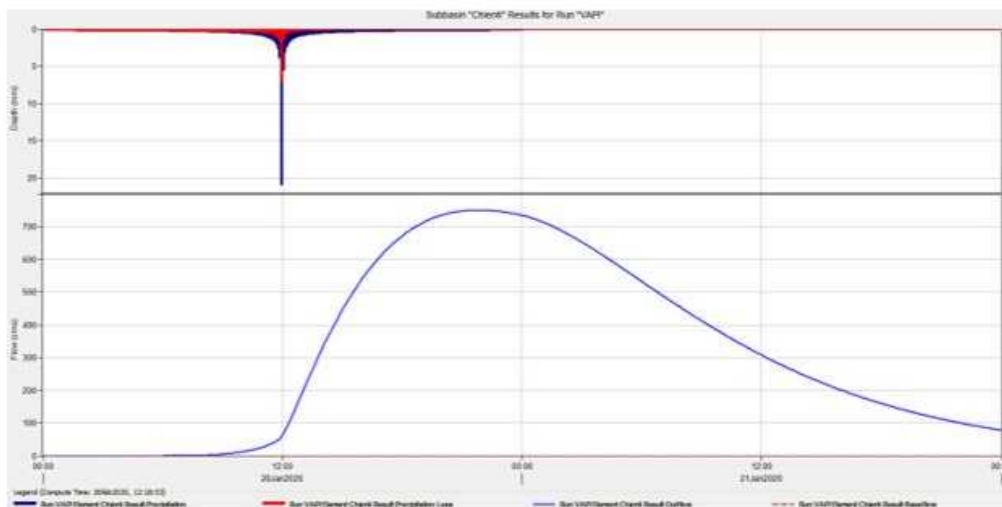
Una volta stabilito  $t_L$ , il programma HEC-HMS risolve l'equazione 8.2 e, quindi, la 8.1. Calcolati  $t_P$  e  $U_P$ , l'idrogramma unitario si ottiene a partire dalla forma adimensionale, insita nel programma di calcolo, per moltiplicazione.

Per la modellazione dei deflussi viene utilizzata la simulazione del trasferimento (routing model) di una onda di piena del Lag Model in cui l'idrogramma di piena in uscita non è altro che l'idrogramma di piena in entrata



ma traslato (lagged in time) nel tempo per una durata specifica. La portata non viene quindi attenuata, e la forma resta sempre la stessa.

Si riporta di seguito l'idrogramma di piena di progetto duecentennale e lo idrogramma che lo ha generato:



### 6.5. Metodo razionale

Alla base della procedura vi sono le seguenti assunzioni:

- la massima piena avviene per precipitazioni meteoriche con durata pari al tempo di corrivazione del bacino;
- il picco di piena ha il medesimo tempo di ritorno della precipitazione che lo ha generato;
- la formazione delle piene ed il suo trasferimento lungo il reticolo idrografico avviene senza la formazione di invasi significativi; nel caso si formino invasi significativi il colmo di piena calcolato con questa metodologia sarà sovrastimato.

PROGETTAZIONE ATI:

La portata al colmo di piena è espressa dalla formula:

$$Q = \frac{chS}{3,6t_c} (m^3 / s)$$

dove:

- c = coefficiente di deflusso del bacino;
- h = altezza massima di pioggia per una durata pari al tempo di corrivazione (mm);
- S = superficie del bacino (km<sup>2</sup>);
- t<sub>c</sub> = tempo di corrivazione del bacino (ore).

La procedura si articola nei seguenti passi:

- delimitazione del bacino idrografico di interesse su una base cartografica in opportuna scala;
- definizione dei parametri morfologici e fisiografici (superficie del bacino sotteso, lunghezza e pendenza dell'asta principale, quota massima (Hmax) minima (Hmin) e media (Hmed) del bacino, copertura vegetale, uso del suolo;
- definizione dei tempi di corrivazione in base a diverse formule teorico-sperimentali e attribuzione dei valori di riferimento;
- definizione della curva segnalatrice di probabilità pluviometrica per diversi tempi di ritorno (vedi cap. 4);
- analisi dei dati di copertura e vegetazione per la valutazione del coefficiente di deflusso;
- calcolo della portata di massima piena per diversi tempi di ritorno funzione della tipologia dell'opera in progetto (ponti, tombini, sistema di drenaggio acque meteoriche piattaforma stradale, ecc.)

PROGETTAZIONE ATI:



Nello specifico il metodo illustrato è stato adottato per la stima delle portate di progetto ai bacini dei corpi idrici minori interferenti con l'infrastruttura in progetto e per quelli relativi alla piattaforma stradale il metodo razionale.

Si riportano in forma tabellare i risultati delle elaborazioni svolte con le metodologie precedentemente descritte, in particolare nell'ultima colonna viene indicata la portata tramite la quale si dimensiona e verifica l'opera di progetto associata.

Bacino	Opera	Pk (Km)	Area (Km <sup>2</sup> )	i(t)	φ	Q <sub>200</sub> (t) (m <sup>3</sup> /s)
Fiume Chienti	Viadotto	0+550	725.56	6.96	0.56	750.50
1	Tombino 3.00x2.00	0+800	1.83	20.97	0.18	10.51
2	Tombino DN1500	1+371	0.04	40.37	0.27	0.49
3	Tombino DN1500	1+603	0.07	36.75	0.35	0.71
4	Viadotto	3+348	0.25	38.08	0.25	2.61
5	Tombino DN1500	3+710	0.08	40.78	0.27	0.96
6	Tombino DN1500	3+845	0.08	40.78	0.27	0.95
7	Tombino DN1500	4+084	0.15	43.48	0.29	1.82
8	Tombino DN1500	4+504	0.05	41.17	0.27	0.52
9	Tombino DN1500	4+632	0.07	44.57	0.30	0.84
10	Tombino DN1500	4+965	0.14	44.59	0.30	1.69

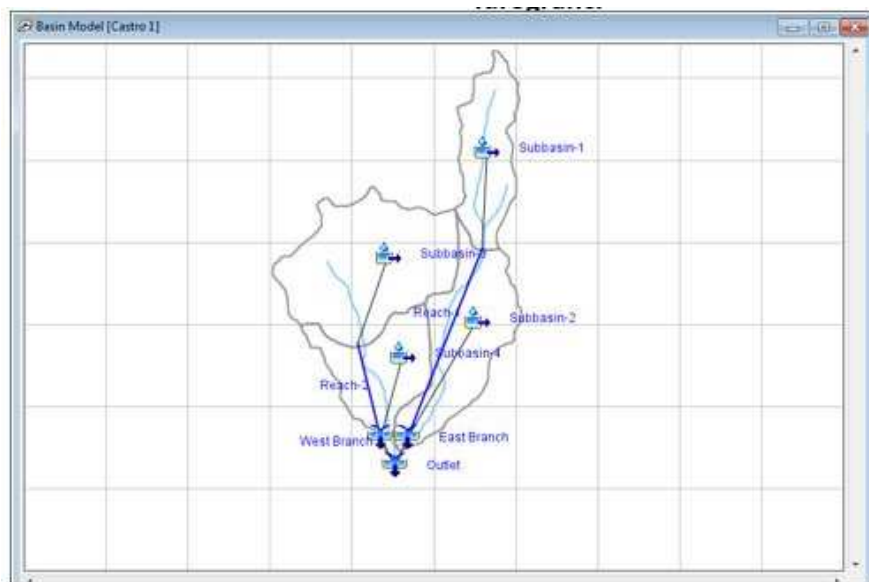
## 7. ALLEGATI

### 7.1. HEC HMS

Il software HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) sviluppato dall'US Army Corps of Engineers (USACE) permette di simulare la risposta di un bacino idrografico investito da un evento meteorico di caratteristiche note, è applicabile ad una vasta gamma di problemi idrologici; il software, infatti, consente la modellazione idrologica di un bacino, mediante la definizione degli elementi concettuali che lo rappresentano e dei processi fisici che avvengono in essi.

HEC – HMS è stato creato per essere applicabile in un ampio campo di problemi idrologici, quali: Studio dei deflussi in grandi bacini idrografici, Analisi dei deflussi di piena, Analisi di deflussi provenienti da piccoli bacini urbani o rurali, Disponibilità idriche di regioni geografiche, Studio dei sistemi di drenaggio urbani, Previsione dei deflussi ecc.

La rappresentazione fisica del bacino idrografico viene fatta nella schematizzazione di bacino attraverso varie componenti, come sottobacini, tronchi fluviali, giunzioni, ritenute, fuoriuscite, sorgenti e pozzi, unite tra di loro a formare una rete completa. Il software utilizza in pratica una schematizzazione a parametri concentrati del bacino idrografico, cioè il bacino idrografico viene schematizzato come un insieme di sottobacini idrografici uniti insieme tra loro dai tronchi fluviali e dalle giunzioni. Ogni sottobacino risponde all'evento pluviometrico secondo delle caratteristiche che sono del sottobacino ma che derivano dalle caratteristiche morfologiche, di uso del suolo, ecc. presenti nello stesso sottobacino. Solo in un caso, utilizzando il metodo di Clark modificato, è possibile ricorrere anche ad una schematizzazione a parametri distribuiti.



#### **Schematizzazione Bacino sottobacini ed elementi di collegamento**

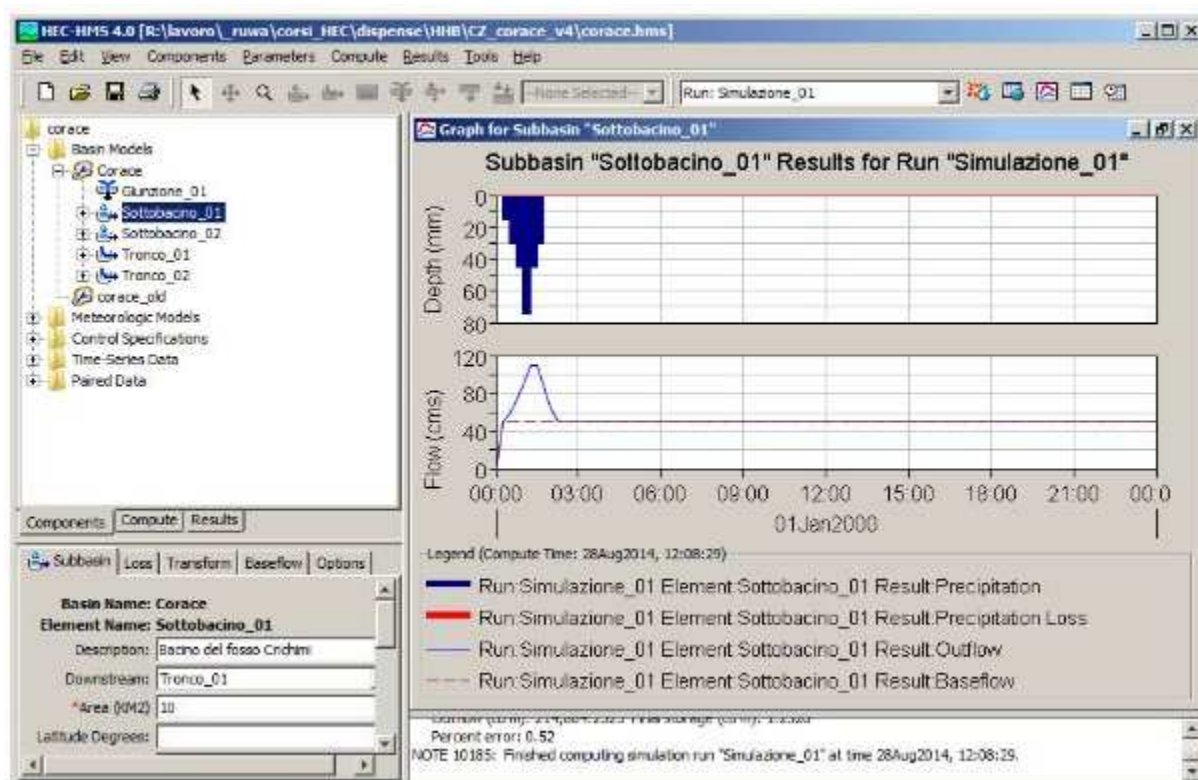
Per la trasformazione afflussi pluviometrici – deflussi superficiali il programma dispone di:

- Un'interfaccia di specificazione delle precipitazioni che permette di descrivere un evento storico osservato oppure una precipitazione ipotetica basata su una indagine di tipo statistico, o il limite superiore di precipitazione possibile per una certa località. All'interno del

PROGETTAZIONE ATI:

programma è presente una componente che permette di inserire, ed eventualmente analizzare, serie di dati pluviometrici in modo da ottenere le caratteristiche pluviometriche dell'evento di progetto, in pratica lo ietogramma di progetto, da inserire come dato nella modellazione. All'interno di questa componente è possibile utilizzare diversi metodi per l'analisi dei dati storici di precipitazione oppure utilizzare risultati derivanti da precedenti elaborazioni di serie statistiche di dati pluviometrici. E' possibile inoltre selezionare diverse modalità per distribuire spazialmente la pioggia incluso il metodo dei poligoni di Thiessen (topoiet).

- Modelli di stima delle perdite, attraverso i quali si può stimare il volume dello scorrimento superficiale noti la precipitazione e le proprietà del bacino imbrifero come per esempio la perdita iniziale e costante, il metodo Curve Number del Soil Conservation Service ed il metodo di Green e Ampt.;
- Modelli di formazione di volumi di piena, che possono essere usati per valutare lo scorrimento superficiale, l'immagazzinamento e l'energia persa nel fenomeno in cui l'acqua si muove dal bacino imbrifero verso un canale di scorrimento tra i quali l'idrogramma unitario di Clark, Snyder o del Soil Conservation Service, il metodo di Clark modificato in caso di schematizzazioni a parametri distribuiti;
- Modelli di propagazione di onde di piena che descrivono il processo che ne regola il deflusso e il trasporto nella rete idrografica del bacino si va infatti dal semplice trasferimento a metodi più complessi come quello di Muskingum-Cunge sia per canali di forma semplice che per canali di forma complessa.;



**Visualizzazione grafica risultati**

- Moduli per elementi di collegamento utili per la descrizione geometrica della rete idrografica come confluenze, biforcazioni e altre singolarità;

- Moduli per le strutture di controllo includenti diversivi e casse di espansione;
- Modello di pioggia distribuito, che può essere utilizzato con dati di precipitazione distribuiti, come ad esempio quelli ottenuti tramite un radar meteorologico;
- Modello in continuo per tenere conto dell'umidità del suolo che può essere visualizzato per simulare la risposta a lungo termine di un bacino imbrifero a variazioni meteorologiche stagionali o annuali.

## **7.2. Metodologia**

Le diverse fasi di implementazione del modello idrologico sono eseguite mediante i seguenti passaggi procedurali:

- Definizione delle componenti del sistema idrografico;
- Individuazione della metodologia di stima delle perdite di bacino,
- Impostazione della trasformazione afflussi deflussi,
- Definizione dei parametri di propagazione dei deflussi,
- Analisi meteorologica,
- Trasformazione afflussi - deflussi - Calibrazione parametri idrologici

L'esecuzione di una simulazione idrologica richiede la specificazione di tre insiemi di dati (componenti idrologici):

- Basin Model in questa fase si esegue una rappresentazione fisica delle caratteristiche del bacino idrografico. Tale componente permette di specificare elementi idrologici, metodi di calcolo delle perdite di bacino, metodi di calcolo della trasformazione afflussi-deflussi, ed ulteriori elementi che compongono il dominio di interesse. Nella schematizzazione si definisce il bacino oggetto di studio, dove per prima cosa si imposta il sistema di misura, ad esempio metrico. Successivamente si definiscono tutte le componenti di bacino, quali sottobacini (Subbasin) per determinare l'onda di piena, tratti di alveo (Reach) per la propagazione dell'onda, ed elementi di unione tra più sottobacini o tronchi di alveo (Junction)
- Meteorologic Model si esegue l'analisi pluviometrica. Al suo interno si possono definire sia i dati di pioggia di riferimento che quelli relativi ad ulteriori processi, quali evapotraspirazione e scioglimento di neve. Nel primo caso è possibile inserire sia eventi registrati che ietogrammi sintetici, tra cui quelli definiti direttamente dall'utente o estrapolati dalle serie riferite a diversi pluviografi ed assegnando opportuni coefficienti di peso tramite ad esempio il metodo dei poligoni di Thiessen
- Control Specifications si definisce l'intervallo temporale di simulazione, specificando il giorno di inizio e fine evento (in termini di data), scegliendo il più opportuno intervallo temporale per la rappresentazione dei dati (giornaliero, orario o sub orario)