

PNC - PNRR: Piano Nazionale Complementare al Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza nei territori colpiti dal sisma 2009-2016, Sub-misura A4,"Investimenti sulla rete stradale statale"

S.S. 502 - S.S. 78 - Belforte del Chienti - Sarnano - Lavori di adeguamento e/o miglioramento tecnico funzionale della sezione stradale in t.s. e potenziamento delle intersezioni. 2° Stralcio. Cod. SIL ACNOAN00114 - Codice CUP F71B22001170001

PROGETTAZIONE DEFINITIVA, ESECUTIVA ED ESECUZIONE LAVORI

cod. **PSL10/22**

PROGETTO DEFINITIVO

RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Prof. Ing. Franco BRAGA
Ordine Ingegneri di Roma n. 7072/A

GEOLOGO:

Dott. Geol. Andrea RONDINARA
Albo regionale del Lazio n. 921

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Davide TALIA
Ordine Ingegneri di Roma n. 29001/B

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Marco MANCINA

PROTOCOLLO

DATA

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI IMPRESE:

Mandataria



Mandanti



RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO PROGETTISTI:

Mandataria



Mandanti



Dott. Geol. Andrea Rondinara

Prestatore del servizio di PMA



STUDI E INDAGINI

Idrologia

Relazione Idrologica

CODICE PROGETTO

NOME FILE

T01SG00IDRRE01A.dwg

REVISIONE

SCALA:

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

CODICE ELAB. **T01SG00IDRRE01**

A

A	EMISSIONE	Agosto 2023	Perilli	Pacitti	Braga
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

S.S. 502 – S.S. 78 Belforte del Chienti – Sarnano – Lavori di adeguamento e/o miglioramento tecnico funzionale della sezione stradale in t.s. e potenziamento intersezioni – 2° stralcio. Cod. SIL ACNOAN00114 - Codice CUP F71B22001170001 CIG 95039446B1

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Idrologica

1	PREMESSA	3
2	RIFERIMENTI NORMATIVI	4
3	INQUADRAMENTO IDROGRAFICO.....	5
	3.1 Fiume Chienti.....	5
	3.2 Fiume Fiastrone	6
4	DISPOSIZIONI NORMATIVE	8
	4.1 PAI Marche	8
5	ANALISI IDROLOGICA.....	11
	5.1 Generalità	11
	5.2 Analisi statistica dei dati pluviometrici	11
	5.2.1 Analisi delle precipitazioni	13
	5.2.2 Definizione delle altezze di pioggia per eventi di durata inferiore all'ora	24
	5.3 Metodologia VAPI	26
	5.3.1 VAPI regionalizzazione delle piogge	27
	5.3.2 Definizione delle altezze di pioggia per eventi di durata inferiore all'ora	32
	5.3.3 Scelta delle curve di possibilità pluviometrica	34
	5.3.4 Altezza di pioggia e coefficiente di riduzione areale	35
6	STIMA DELLE PORTATE DI PROGETTO.....	36
	6.1 Premessa.....	36
	6.2 Metodo Razionale	36
	6.3 Individuazione e caratterizzazione dei bacini idrografici	37
	6.4 Tempo di corrivazione.....	37
	6.5 Stima della pioggia di progetto	39
	6.6 Coefficiente di deflusso e portate di progetto	40

1 PREMESSA

Il presente studio idrologico ricade nell'ambito del progetto definitivo del secondo stralcio dei lavori di adeguamento tecnico e funzionale della sezione stradale e potenziamento delle intersezioni lungo la S.S. n. 502 "Cingoli" – S.S.N. 78 "Picena" – Belforte del Chienti – Sarnano (Lotto 1). I lavori ricompresi nel secondo stralcio fanno parte del quadro delle iniziative inquadrate nel Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) integrato dal Piano Nazionale Complementare (PNC) e dai fondi MIMS CdP ANAS.

Lo scopo del presente studio è quello di fornire l'inquadramento idrologico del territorio nonché di definire le caratteristiche del reticolo idrografico interferito dall'infrastruttura in progetto.

In particolare, lo studio è finalizzato alla caratterizzazione pluviometrica della zona interessata dall'infrastruttura ferroviaria in studio ed alla stima delle portate al colmo di progetto tramite le quali si dimensioneranno e verificheranno sia gli elementi idraulici appartenenti alla rete di drenaggio della piattaforma stradale, sia le opere di risoluzione delle interferenze del reticolo idraulico naturale esistente con il tracciato di progetto.

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Il progetto è stato redatto nel rispetto delle seguenti norme in vigore a livello nazionale e/o europeo:

- D.M. 14 Febbraio 1997 “Direttive tecniche per l'individuazione e la perimetrazione, da parte delle Regioni, delle aree a rischio idrogeologico”.
- Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE
- Direttiva Alluvioni 2007/60/CE - D.Lgs. n. 152/2006
- R.D. 25/07/1904, N. 523 "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie"
- D. Lgs 23 Febbraio 2010, n. 49 “Attuazione della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e gestione dei rischi di alluvioni”.
- Piano di Assetto Idrogeologico - Regione Marche – Autorità di bacino regionale - Norme di Attuazione
- Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico dei bacini di rilievo regionale – Norme di Attuazione (elaborato d)- DCR n. 116 del 21/01/2004 -
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale, adottato il 17 dicembre 2015 con deliberazione n. 6 dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere e approvato il 3 marzo 2016, con deliberazione n. 9, dal Comitato Istituzionale ed il 27 ottobre 2016 dal Presidente del Consiglio dei Ministri con DPCM Pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 28 del 3 febbraio 2017 recante "approvazione del piano di gestione del rischio di alluvioni del distretto idrografico dell'Appennino Centrale".

3 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

Dal punto di vista idrografico l'intervento ricade all'interno del bacino idrografico del Fiume Chienti. Il reticolo idrografico interferito dall' infrastruttura in progetto è rappresentato:

- dal Fiume Fiastrone, tributario di destra, del fiume Chienti,
- dal Fosso Chienti.

3.1 Fiume Chienti

Il fiume Chienti si estende su una superficie di 1.298 km² 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 Pievevitorina 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 Cremona e l'Ete morto tutti di destra. L'intero bacino del Chienti è sfruttato intensivamente per la produzione

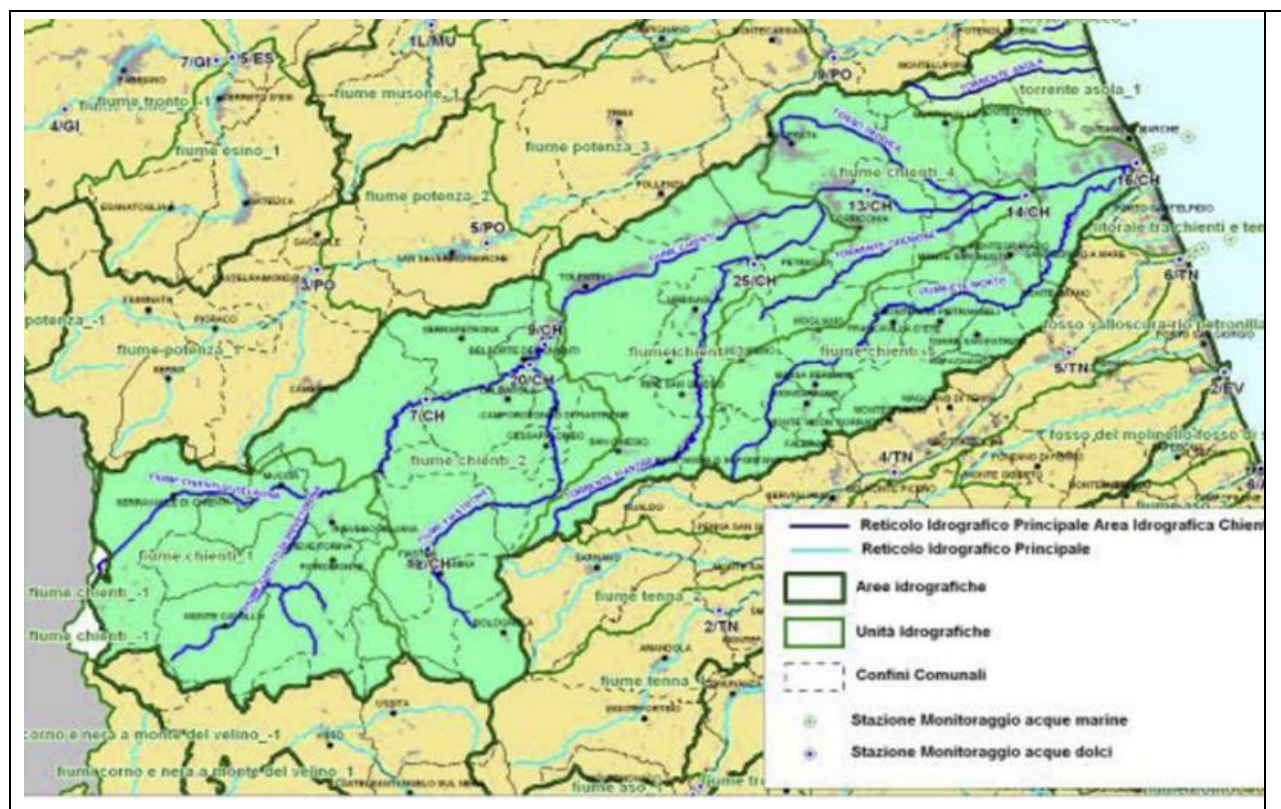


Figura 1 - Bacino Idrografico del Fiume Chienti

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 m³/sec) e magre 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.

3.2 Fiume Fiastrone

Il fiume Fiastrone si origina a quota di 1700 m s.l.m nella testata della Valle del Fargno, nel Comune di Bolognola, tra il massiccio del monte Rotondo (2102 m) e il Pizzo Tre Vescovi (2092 m), scorre totalmente all'interno della provincia di Macerata ed è tributario di destra del Fiume Chienti in cui confluisce all'altezza di Belfonte del Chienti. In frazione San Lorenzo il corso del fiume è stato sbarrato da una diga ad arco-gravità, costruendo nel 1955 per la produzione di energia idroelettrica, realizzando il più grande bacino idroelettrico marchigiano un bacino (20 milioni di m³).

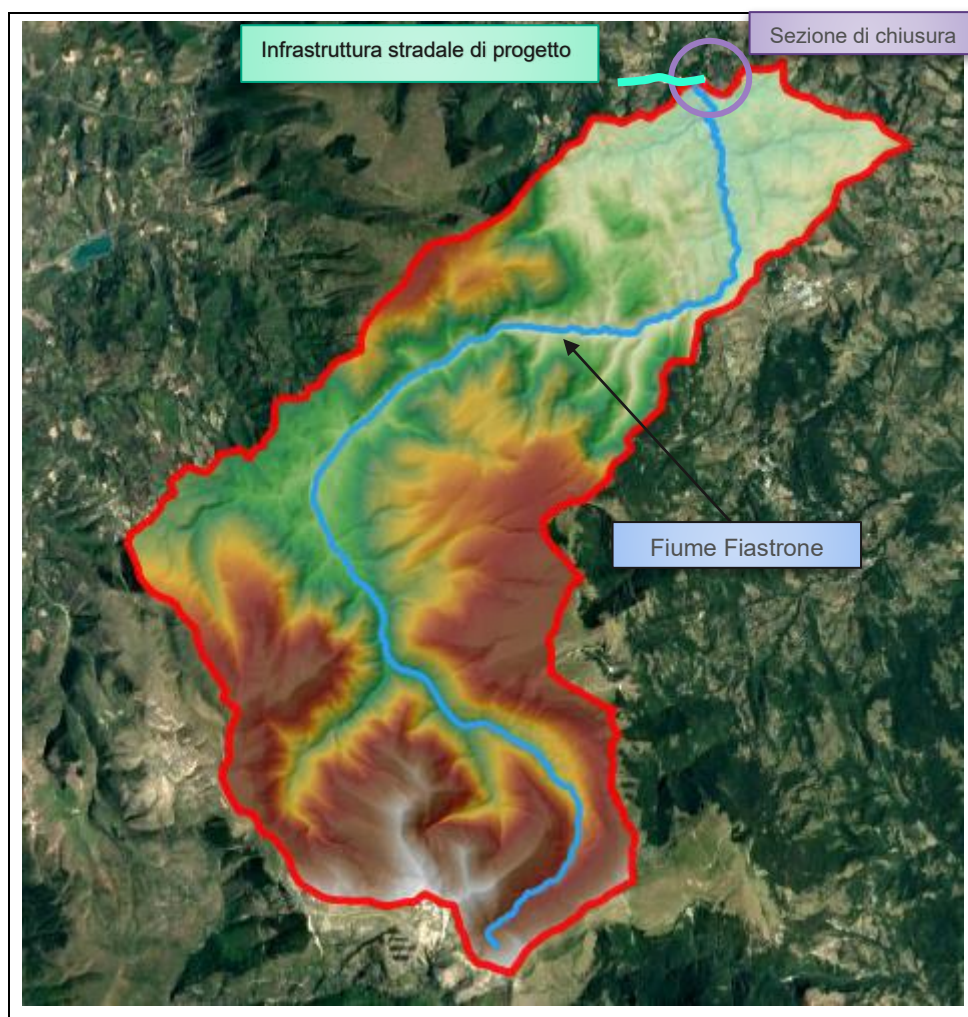


Figura 2 - Bacino Idrografico del Fiume Fiastrone chiuso su intervento infrastrutturale in progetto

Tra i suoi affluenti si ricordano:

- Fosso dell'Acquasanta;
- Fosso del Buggero: affluente sinistro che scende dal versante nord-orientale del M.Cacamillo, chiamato Costa dei Frati, in quanto anticamente nascondeva un romitorio rupestre.

- Rio Sacro: scorre nell'omonima valle tra il Monte Pietralata (massiccio settentrionale del Monte Rotondo) e il Monte Val di Fibbia. Raccoglie le acque dal Fosso Val di Fibbia e dalla Fonte della Pernice, per gettarsi poi da sinistra nel Fiastrone, tra Bolognola e Acquacanina.
- Fosso del Colle: affluente sinistro presso il Lago di Fiastra. Scende dal versante settentrionale del Monte Val di Fibbia, e attraversa la frazione di Colle di Fiastra;
- Rio Bagno: affluente di destra poco più a monte della diga (frazione Podalla, Fiastra); incassata nella valle si trova la chiesetta di S.Maria in Rio Bagno.
- Rio Fessa: affluente destro tra il Monte Corvo e il Monte dei Cancelli (presso Monastero di Cessapalombo). Il torrente è captato per l'acquedotto.
- Rio del Monte: affluente destro tra Monastero di Cessapalombo e il Monte di Rocca Colonnata (San Ginesio).
- Fosso Chienti affluente di sinistra del Fiastrone che riveste importanza dal punto di vista delle interferenze idrauliche con l'infrastruttura di progetto, risultando intersecato dal tracciato stradale in studio in due punti.

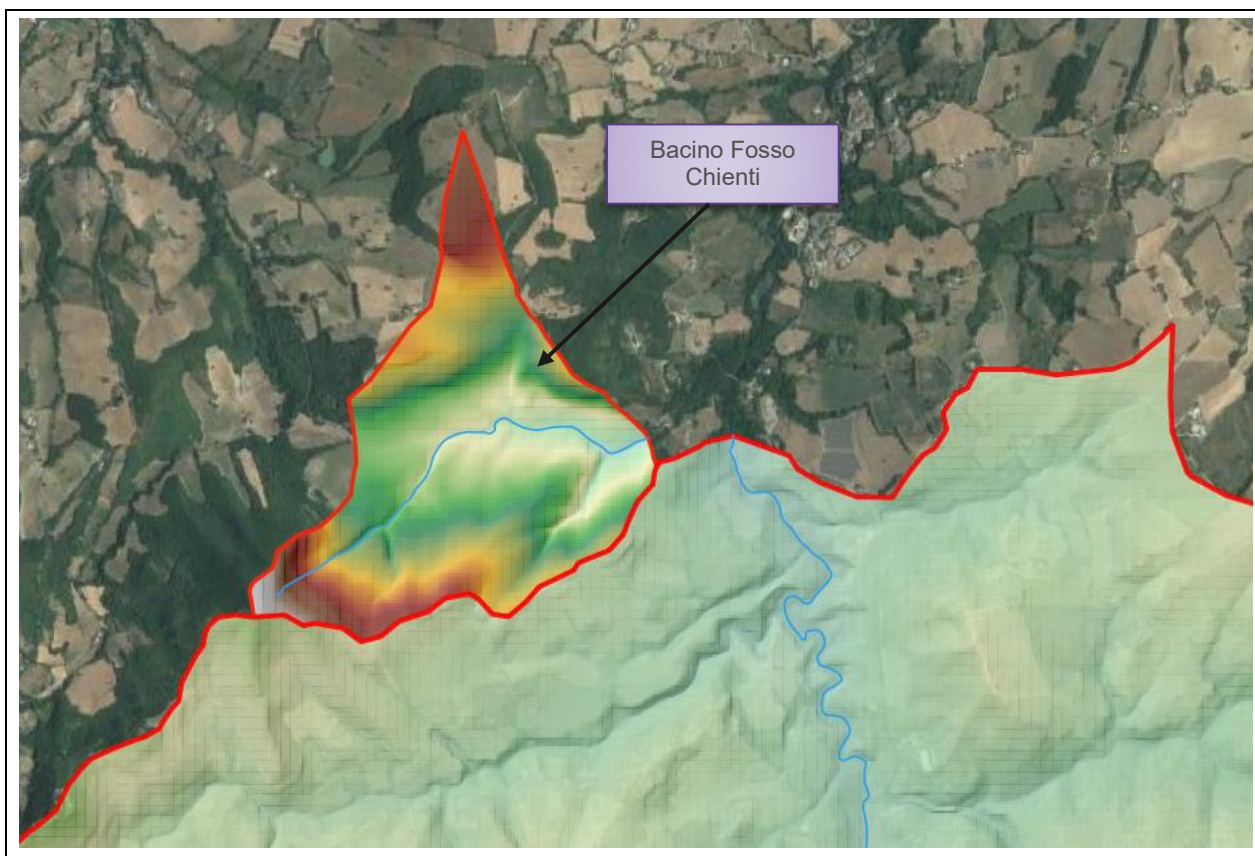


Figura 3 - Bacino Idrografico del Fosso Chienti

4 DISPOSIZIONI NORMATIVE

Con le disposizioni del Testo Unico in materia ambientale (Decreto legislativo n. 152/2006) l'intero territorio italiano è stato ripartito complessivamente in 7 distretti idrografici, in ognuno dei quali è istituita l'Autorità di Bacino distrettuale, definita giuridicamente come ente pubblico non economico.



Figura 4 - Suddivisione territoriale in distretti

L'intervento infrastrutturale in studio ricade all'interno del bacino idrografico del fiume Chienti, 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. L'assetto idrogeologico dell'area interessata dal progetto in esame è regolamentato dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) regione Marche.

4.1 PAI Marche

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.

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 (Tavole RI57b - RI 57c) relativi alla definizione delle aree a Rischio Idraulico relativa al PAI aggiornamento 10/05/2022 (pubblicazione del DPCM 14/03/2022 nella GU Serie Generale n. 108), l'intervento infrastrutturale in progetto risulta completamente esterno ad aree a rischio idraulico.

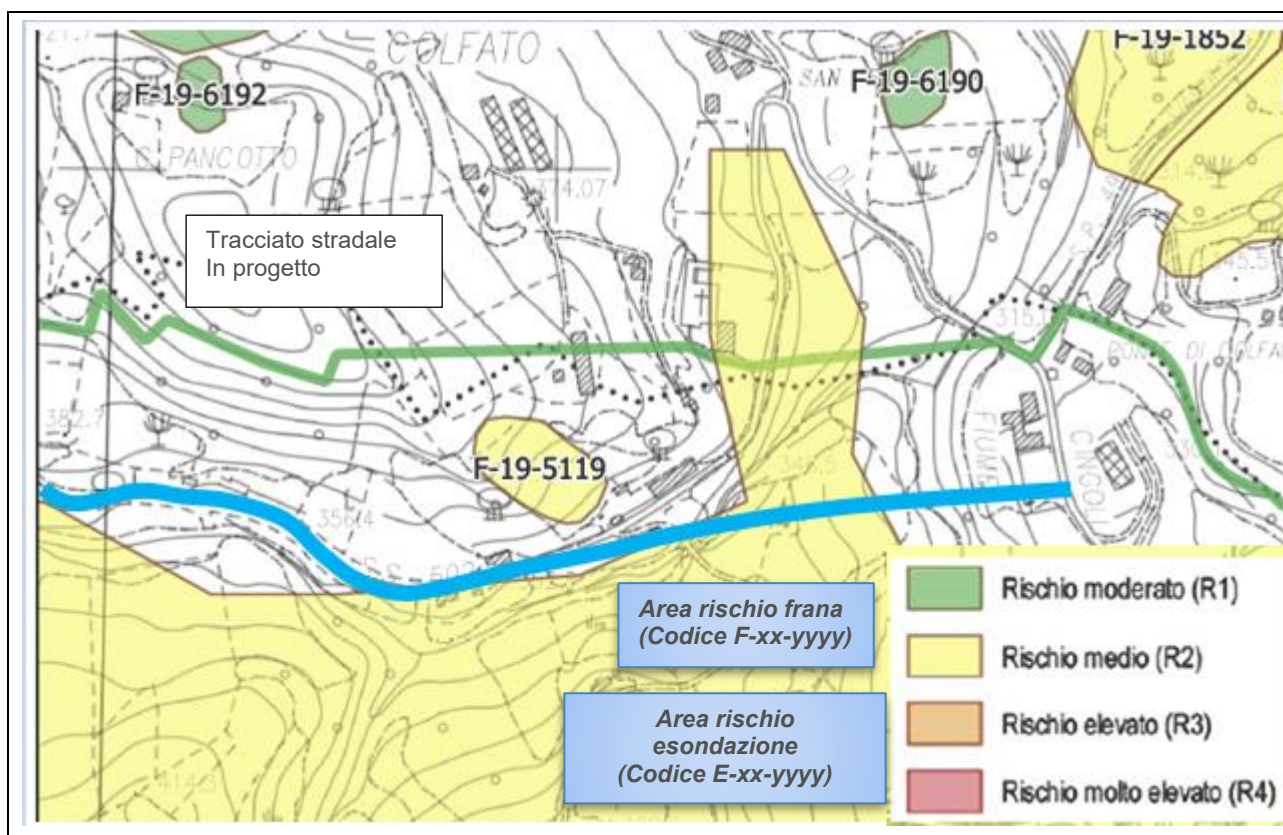
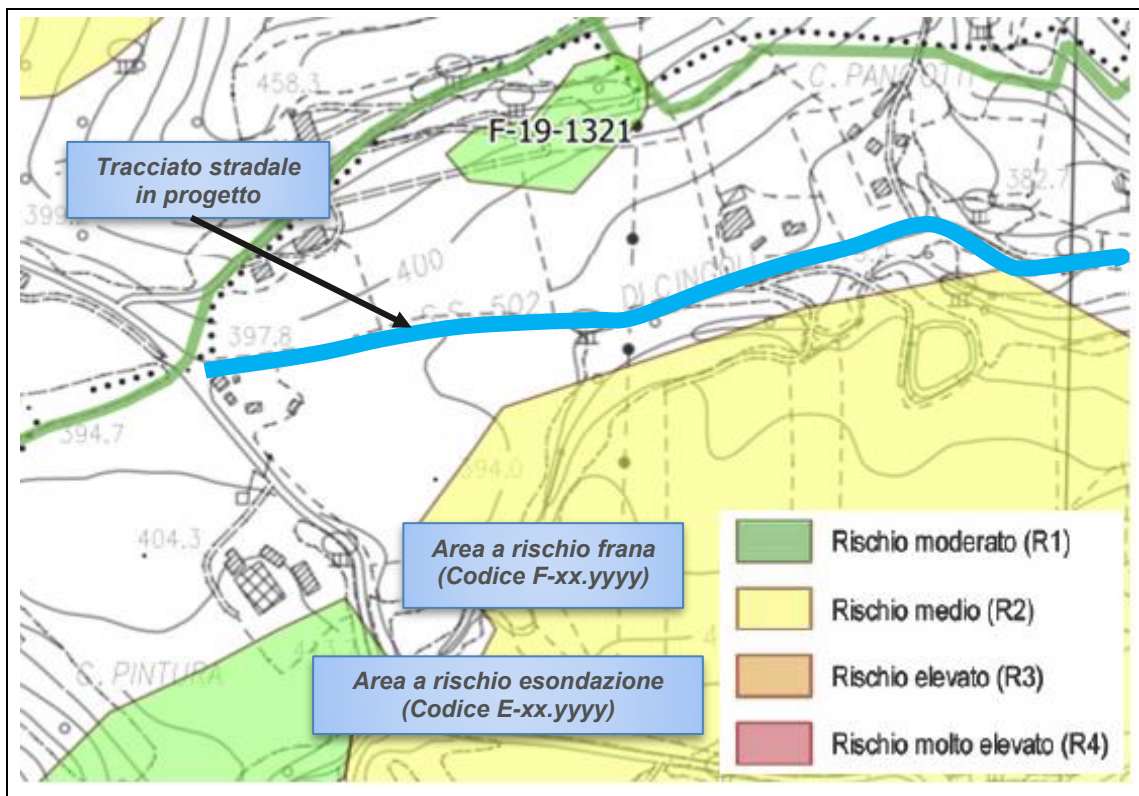


Figura 5 - Stralcio planimetrico PAI elaborati RI57 b-RI 57c

5 ANALISI IDROLOGICA

5.1 Generalità

Lo studio delle piogge avviene utilizzando metodologie statistiche, basate su misure delle altezze di precipitazione realmente osservate.

La rappresentazione di un evento pluviometrico di una certa durata τ , viene effettuata mediante una curva, detta curva segnalatrice di possibilità pluviometrica o climatica, caratterizzata generalmente dalla seguente espressione:

$$h = at^n$$

nella quale h rappresenta l'altezza di precipitazione caduta nell'intervallo di tempo t ; a ed n sono dei coefficienti determinati statisticamente.

Per la determinazione delle curve di possibilità pluviometrica (CCP) associate ai diversi tempi di ritorno Tr , nella presente applicazione si analizzano e si confrontano i risultati di due diversi studi.

- Analisi statistica tramite il modello probabilistico di Gumbel dei massimi annui giornalieri della pioggia per le durate di precipitazione di 1, 3, 6, 12 e 24 ore registrati al pluviografo SI Bologna Osservatorio e Bologna San Luca reperiti direttamente sul sito di Arpa Emilia-Romagna dal 1934 al 2020 compresi.
- Progetto VAPI Italia Centrale, con particolare riferimento a quanto riportato nella "Analisi regionale delle piogge brevi dell'Italia centrale con una relazione intensità -durata-frequenza a tre parametri" Calenda G., Cosentino C

Le verifiche idrauliche vengono cautelativamente condotte con riferimento ai risultati più cautelativi in esito al confronto tra i due metodi.

5.2 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 Tr , inteso come periodo, espresso in anni, nel quale mediamente l'evento viene eguagliato o superato.

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 Tr , 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 α 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 otterranno 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:

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

A 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 α 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 α e u le seguenti espressioni:

$$\alpha = \frac{1.283}{S_u}$$

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

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:

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

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

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:

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

5.2.1 Analisi delle precipitazioni

Per sviluppare l'analisi statistica sopra descritta sono stati considerati i dati di pioggia registrati nella stazione pluviometriche più vicine all'intervento in progetto e più significative in termini di numerosità del campione e di conseguenza per le estrapolazioni di tipo statistico. La scelta è ricaduta sulle stazioni pluviometriche di Bologna interna al bacino del fiume Fiastrone, Sarnano e Tolentino di cui si riportano di seguito, in forma

tabellare le caratteristiche e le altezze di precipitazione per le durate orarie 1,3,6,12,24 ricavate dagli Annali idrologici forniti dal sito dell' Ispra e dalla Protezione civile Regione Marche:

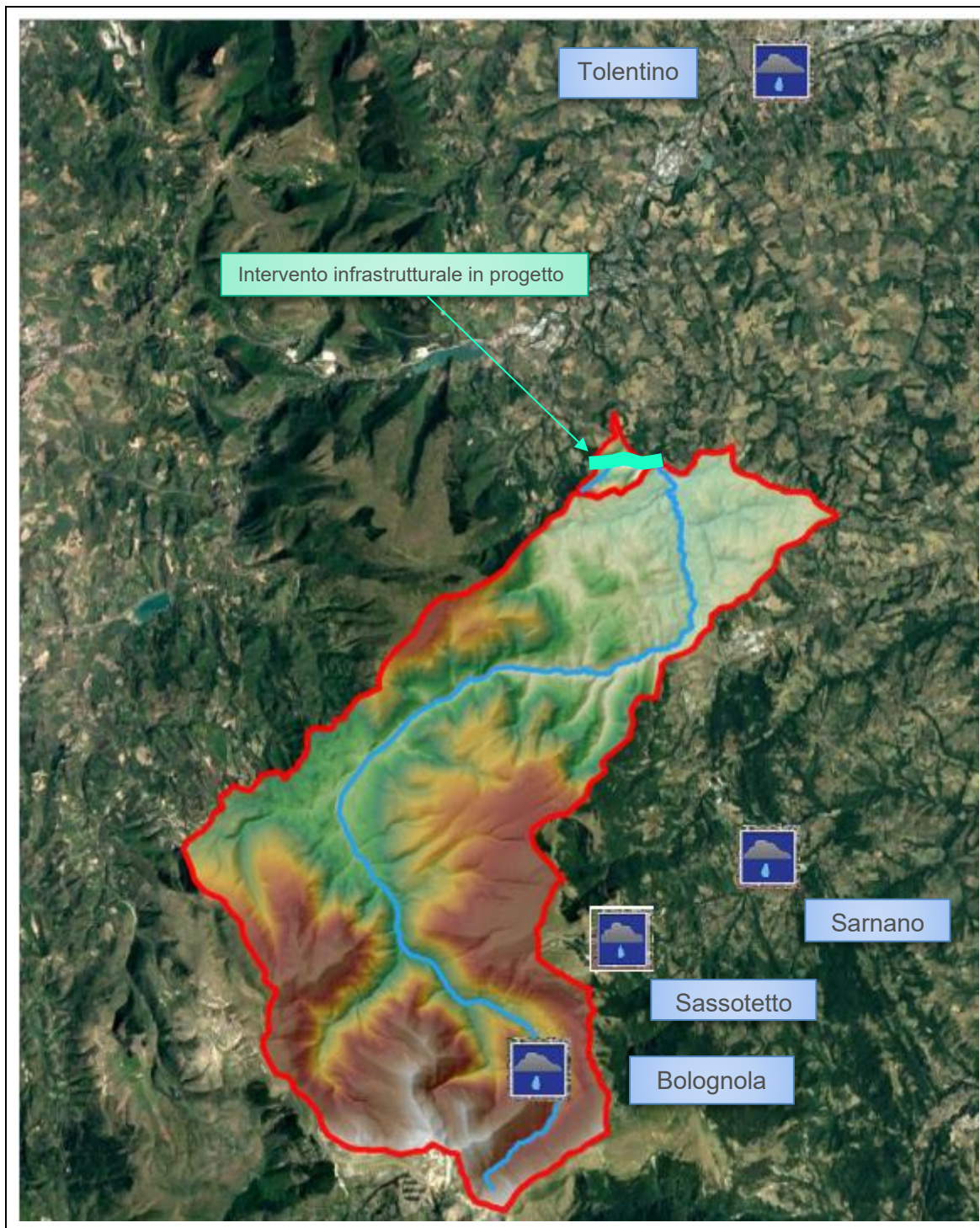


Figura 6 – localizzazione delle stazioni pluviometriche di Bolognola, Sarnano, Sassotetto e Tolentino

PROGETTO DEFINITIVO

Stazione pluviometrica	Numero osservazioni	Periodo osservazioni (anni)	Altitudine (m s.l.m.)
Bologna	82	1928-2018	1070
Sarnano	14	1991-2007	539
Sassotetto	14	2008-2021	1365
Tolentino	78	1935-2018	244

Bologna

Anno	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
	1	3	6	12	24
2018	45.0	72.4	84.4	97.0	160.4
2017	21.4	35.8	65.8	112.0	188.0
2016	17.8	41.6	57.0	77.2	106.0
2015	28.2	38.6	64.0	87.4	118.2
2014	18.2	27.0	45.6	71.6	103.8
2013	32.2	70.2	131.2	210.0	315.6
2012	50.0	89.0	96.6	140.2	201.2
2011	24.6	27.2	33.4	45.4	57.0
2010	12.2	26.6	42.0	62.8	81.8
2009	27.6	50.6	80.0	115.0	149.8
2008	18.2	23.6	40.0	75.8	124.4
2007	11.4	21.4	27.8	38.4	45.0
2006	17.4	20.4	21.4	33.4	49.6
2005	13.2	32.6	58.0	74.2	77.8
2004	29.2	56.4	100.2	154.8	158.4
2003	25.0	38.0	52.0	64.2	80.2
2002	27.8	35.0	55.8	83.6	110.8
2001	16.4	24.0	46.0	69.0	82.6
2000	20.0	25.0	30.4	47.2	57.2
1999	20.4	36.2	64.2	127.8	176.8
1998	23.0	30.6	50.8	72.2	88.0
1997	13.6	27.6	48.2	66.6	70.2
1996	38.4	56.0	56.0	58.6	70.0
1995	32.0	46.0	49.0	70.2	108.4
1994	29.4	52.8	61.6	61.6	86.4
1993	18.4	31.0	43.8	57.8	72.0
1992	12.8	28.6	44.6	81.0	145.0

PROGETTO DEFINITIVO

Anno	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
	1	3	6	12	24
1991	28.4	53.8	74.4	105.2	116.8
1990	12.2	25.2	47.4	80.6	90.4
1989	36.6	40.6	65.6	86.6	134.4
1988	20.2	41.4	52.8	57.6	60.0
1987	17.4	35.0	43.4	52.0	73.8
1986	43.4	44.8	85.0	160.0	241.0
1985	26.4	39.0	70.0	93.4	120.0
1984	20.4	38.0	67.0	110.0	152.6
1983	18.4	28.0	36.0	51.0	93.0
1982	20.2	26.4	40.0	67.0	95.4
1981	11.0	21.6	37.4	62.8	66.8
1980	20.4	20.4	34.6	64.6	83.8
1979	35.0	43.8	58.6	94.0	105.6
1978	26.2	31.7	55.2	98.4	149.2
1977	16.0	32.0	54.6	62.0	69.8
1976	38.0	68.0	73.0	87.0	128.2
1975	20.8	32.0	49.0	73.0	138.0
1974	23.0	38.0	64.0	99.4	187.0
1973	20.0	37.0	61.8	93.4	119.0
1972	33.0	43.4	56.4	72.8	97.0
1971	15.0	19.0	31.8	46.2	59.2
1970	12.6	18.4	29.2	43.2	61.0
1969	46.0	46.2	46.2	59.6	79.2
1968	30.6	49.0	68.8	114.8	165.4
1967	21.8	30.0	45.6	67.0	86.8
1966	34.0	45.8	49.6	49.6	65.0
1965	42.6	52.0	52.2	64.6	87.0
1964	42.0	54.8	61.2	72.2	89.0
1963	20.0	38.0	78.4	136.0	213.6
1962	18.0	22.4	26.0	44.0	70.8
1961	14.6	26.6	36.6	44.0	59.4
1960	18.2	30.4	36.2	58.8	97.2
1959	16.0	27.4	49.4	94.6	134.2
1958	16.0	40.0	60.0	114.2	136.2
1957	24.2	36.0	62.0	93.4	126.8
1956	30.0	46.8	68.0	73.6	93.4
1955	25.2	60.0	93.0	147.6	230.0
1954	59.0	91.6	94.8	95.2	137.2
1953	13.0	20.8	39.0	71.0	105.2
1952	29.4	61.0	69.0	71.0	80.2

PROGETTO DEFINITIVO

Anno	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
	1	3	6	12	24
1951	22.4	38.8	53.4	80.0	107.0
1949	19.0	40.0	60.8	106.0	159.6
1948	19.0	30.6	50.4	81.0	100.0
1942	22.4	41.8	43.2	55.8	56.2
1941	12.0	24.0	42.4	56.4	57.2
1940	13.2	30.2	40.6	57.4	59.2
1939	20.0	38.2	60.8	108.0	179.0
1938	21.8	23.0	31.0	43.6	71.0
1937	32.0	48.6	53.0	75.6	95.2
1936	42.0	60.4	60.8	65.2	101.0
1935	14.6	29.2	37.0	54.0	78.0
1932	23.0	39.8	45.6	75.0	130.0
1931	41.8	47.0	54.8	75.0	104.0
1929	10.4	23.2	35.6	47.3	51.0
1928	16.4	37.6	57.8	74.8	103.4

Sarnano

Anno	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
	1	3	6	12	24
1991	13.4	17.2	19.4	26.8	38.6
1992	47	66.2	66.2	66.2	66.2
1993	12.4	19.2	31.4	36.8	53.4
1994	37	55.6	59.6	59.6	73.8
1995	24	39.4	42.2	54.6	82.2
1996	17.2	22.6	90.2	46.6	50.6
1997	18.2	37.8	37.8	53.2	59.8
1998	21.2	28.4	47	56.6	70
1999	28.8	37.8	40.8	40.8	53.6
2000	25.2	29.2	30.2	37	57.8
2001	9.2	21.2	27.4	32.2	54
2002	27.2	60.6	88.6	104.60	108.40
2003	27	46.6	49.8	58.80	59.40
2004	20.6	49	71.6	87.20	87.20
2005	28.8	45.4	46.4	48	79.20
2006	20.6	25.6	28.2	37.20	48.80
2007	16.6	20.6	39	61.40	62.40
1991	13.4	17.2	19.4	26.8	38.6
1992	47	66.2	66.2	66.2	66.2
1993	12.4	19.2	31.4	36.8	53.4
1994	37	55.6	59.6	59.6	73.8

PROGETTO DEFINITIVO

Anno	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
	1	3	6	12	24
1995	24	39.4	42.2	54.6	82.2
1996	17.2	22.6	90.2	46.6	50.6
1997	18.2	37.8	37.8	53.2	59.8
1998	21.2	28.4	47	56.6	70
1999	28.8	37.8	40.8	40.8	53.6
2000	25.2	29.2	30.2	37	57.8
2001	9.2	21.2	27.4	32.2	54
2002	27.2	60.6	88.6	104.60	108.40
2003	27	46.6	49.8	58.80	59.40
2004	20.6	49	71.6	87.20	87.20
2005	28.8	45.4	46.4	48	79.20
2006	20.6	25.6	28.2	37.20	48.80
2007	16.6	20.6	39	61.40	62.40

Sassotetto*

Anno	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
	1	3	6	12	24
2008	29.2	39	39.8	43.00	76.00
2009	33	46.4	67.6	93.00	124.40
2010	28.4	30.4	41	65.60	88.00
2011	21	23.8	28.6	34.40	61.60
2012	29	55.4	80.2	117.20	166.00
2013	30.2	37.6	69	108.80	176.60
2014	10.8	19	28.8	46.60	71.80
2015	26.6	49	54.2	73.60	85.20
2016	17.8	43	58.2	69.00	98.20
2017	22.4	30.6	37.4	64.60	104.80
2018	29.2	29.4	31	35.20	51.80
2019	29.4	33.4	44.4	85.00	115.40
2020	60	76.8	79.6	80.00	89.40
2021	46.8	59.0	64.4	87.6	124.0

*Per quello che concerne i dati di pioggia relativi alla stazione di Sassotetto questi vengono inglobati in quelli registrati dalla stazione di Sarnano andando così a costituire un'unica e più robusta serie storica di dati pluviometrici.

Tolentino

Anno	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
	1	3	6	12	24
2018	45.0	47.0	58.4	64.0	67.4
2017	15.6	23.4	34.8	53.4	86.8
2016	63.0	71.2	77.7	78.2	78.2
2015	33.2	67.4	87.6	106.6	107.4
2014	24.6	27.0	40.4	60.2	65.8
2013	31.0	33.0	46.6	81.8	114.8
2012	14.8	23.4	36.6	45.0	57.4
2011	28.4	28.4	43.0	63.6	90.0
2010	56.2	60.6	60.6	60.6	67.6
2009	15.2	25.4	38.0	56.2	71.6
2008	26.2	34.0	34.4	34.8	36.8
2007	21.4	27.8	32.8	38.0	39.0
2006	20.2	32.8	45.0	49.0	49.0
2005	15.8	24.0	28.6	30.8	34.4
2004	18.0	29.2	47.2	60.0	60.0
2003	17.4	23.0	37.6	53.2	69.8
2002	11.8	20.0	24.8	36.4	43.2
2001	24.2	32.8	50.8	60.4	60.4
2000	36.4	38.2	50.4	82.8	105.2
1999	10.8	21.2	37.4	74.2	96.8
1998	33.4	48.2	50.4	58.8	61.0
1997	32.8	34.4	36.6	38.8	57.0
1996	55.6	68.2	82.6	90.0	97.8
1995	10.8	17.2	29.0	42.8	62.2
1994	9.0	15.6	21.2	40.4	57.0
1993	23.0	36.2	69.2	83.0	87.4
1992	18.4	32.4	37.6	58.8	79.6
1991	38.4	48.8	51.2	60.0	69.4
1990	25.2	36.6	53.2	74.8	78.8
1989	41.0	49.8	49.8	62.8	95.0
1988	33.6	47.2	47.2	47.2	77.6
1987	18.0	30.4	45.6	49.6	60.6
1986	30.0	36.6	49.6	52.8	55.8
1985	40.0	50.6	50.6	51.2	51.2
1984	32.0	42.0	62.0	79.0	94.6
1983	26.8	26.8	26.8	28.8	34.2
1982	12.2	17.0	30.2	53.2	73.2
1981	24.0	27.2	27.2	36.6	53.4

PROGETTO DEFINITIVO

Anno	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
	1	3	6	12	24
1980	20.8	38.9	61.4	100.6	133.6
1979	25.0	26.8	30.0	37.0	44.2
1978	39.0	41.6	41.6	43.0	69.0
1977	40.4	41.0	41.0	41.0	41.0
1976	23.0	24.0	27.0	30.0	51.6
1975	38.2	50.6	52.2	66.0	113.4
1974	24.4	25.4	25.4	34.6	44.2
1973	15.2	31.0	56.2	67.2	69.4
1972	25.8	30.8	31.4	31.4	32.4
1971	30.0	34.2	34.2	40.0	45.4
1970	33.4	41.2	51.6	74.8	82.6
1969	37.8	43.6	43.6	43.6	48.4
1968	34.6	34.6	36.2	39.6	45.6
1967	34.4	45.4	47.8	48.8	5.4
1966	49.6	67.2	70.4	71.2	74.0
1965	22.8	38.0	50.6	67.0	86.2
1964	23.0	35.0	44.2	46.2	52.0
1963	23.0	33.2	37.0	68.2	96.6
1962	18.0	18.2	34.0	60.2	98.2
1961	20.2	22.6	28.0	28.2	39.0
1960	10.4	16.0	26.2	33.8	45.6
1959	16.8	22.0	22.0	31.0	43.2
1958	27.8	33.6	36.6	63.8	77.6
1957	34.6	34.6	34.6	36.9	51.0
1956	22.6	33.0	50.0	69.2	87.2
1955	21.0	25.6	35.4	49.2	69.4
1954	36.2	37.4	37.4	38.0	49.8
1953	18.2	29.2	30.6	42.6	54.6
1952	20.2	30.4	40.0	49.6	64.8
1951	18.4	23.8	29.0	35.8	44.8
1949	14.0	21.0	21.9	29.4	36.0
1948	16.2	20.0	27.0	45.0	57.8
1942	45.0	49.4	49.6	49.6	49.6
1941	28.8	28.8	35.8	50.6	66.4
1940	34.0	37.0	43.0	59.8	88.4
1939	34.8	34.8	37.0	39.6	60.2
1938	10.6	14.2	20.0	33.0	50.0
1937	28.4	47.6	60.2	76.4	89.6
1936	59.2	65.4	66.4	72.0	72.4
1935	15.2	22.0	32.0	45.4	52.4

Si procede poi 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. A tutti i bacini individuati sono state assegnate una o più stazioni pluviometriche di riferimento secondo la metodologia sopra descritta, esemplificata in figura seguente.

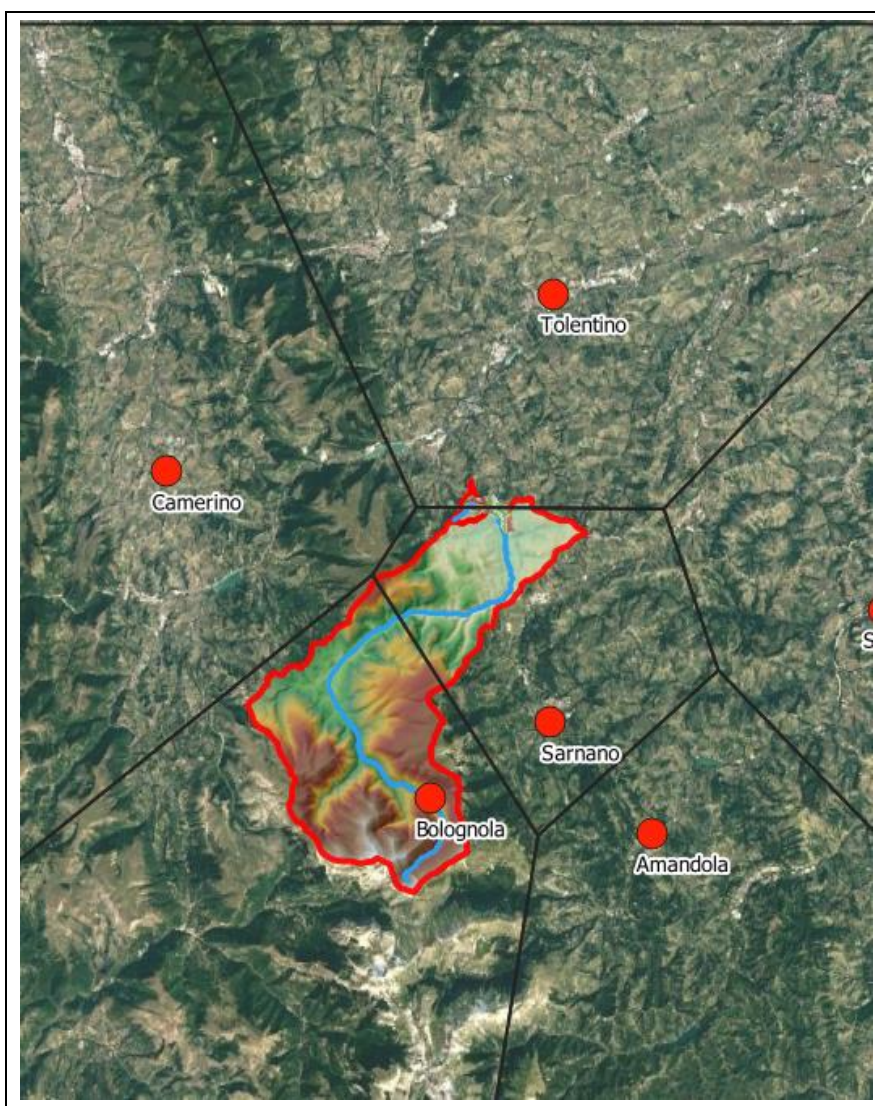
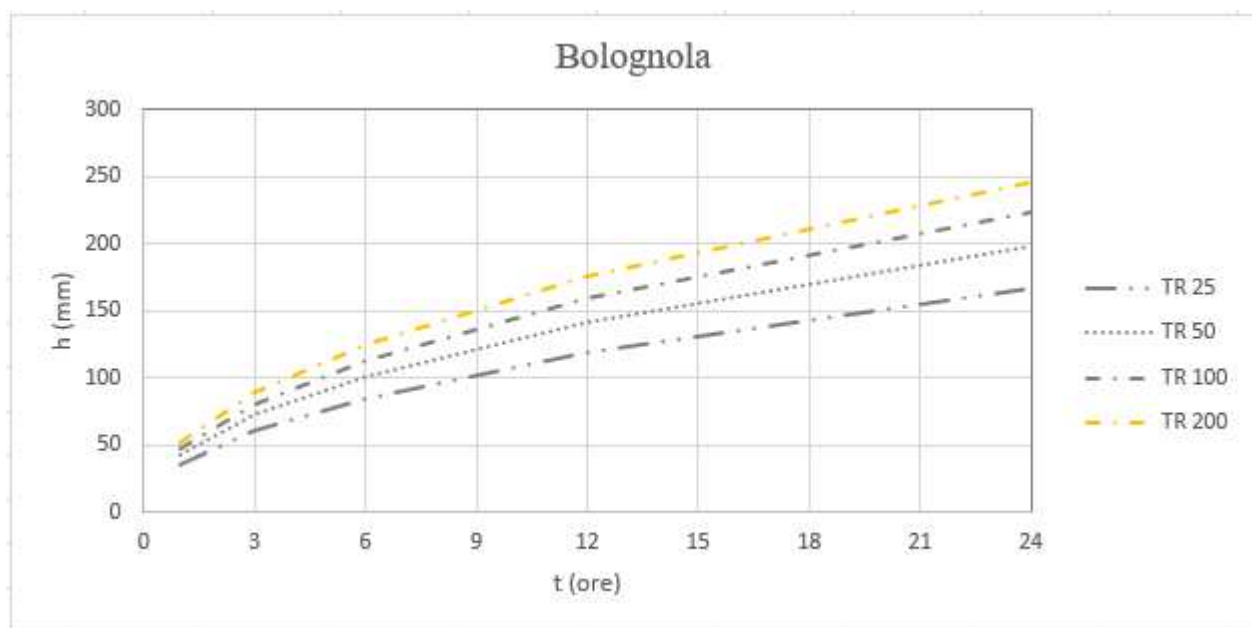


Figura 7 – Poligoni di Thiessen per le stazioni pluviometriche in studio

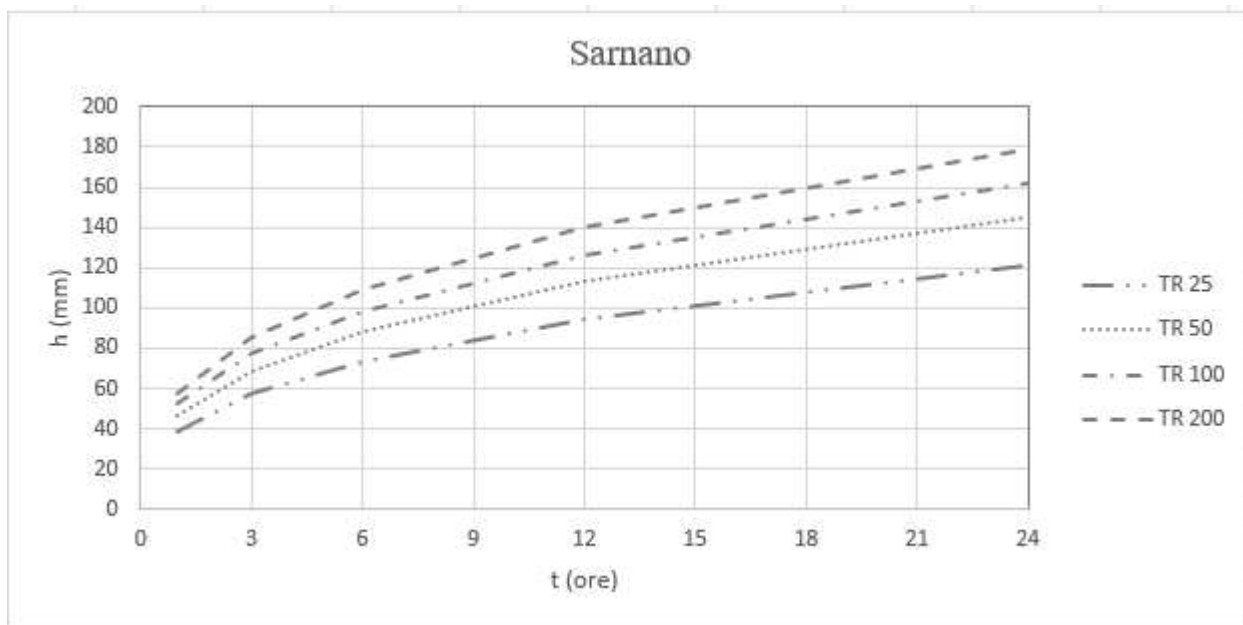
Nel caso di bacini con più stazioni pluviometriche ricadenti al proprio interno l'altezza di pioggia complessiva viene calcolata come media pesata delle altezze di pioggia delle singole stazioni.

Si riportano di seguito sotto forma tabellare i parametri a ed n delle curve di possibilità pluviometrica delle stazioni di riferimento Bolognola Sarnano e Tolentino Idrografico e la loro rappresentazione grafica per diversi tempi di ritorno.

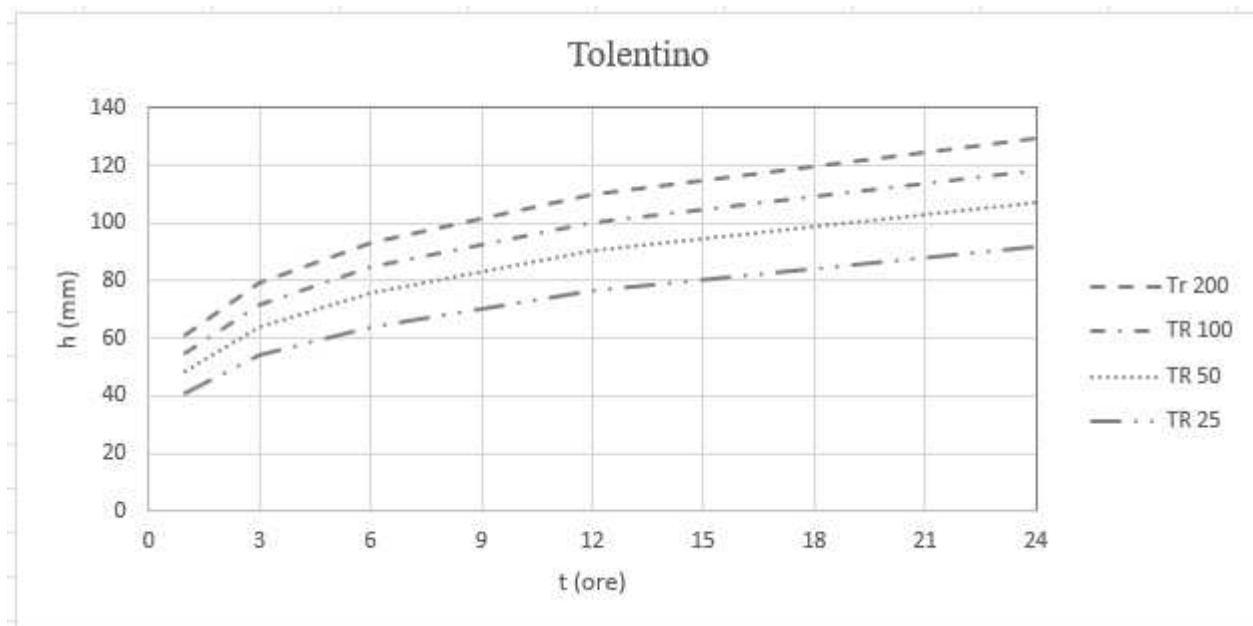
Bologna				
T_R (anni)	25	50	100	200
a	42.43	47.48	52.50	57.49
n	0.4861	0.4866	0.4870	0.4873



Sarnano				
T_R (anni)	25	50	100	200
a	46.48	52.13	57.74	63.32
n	0.357	0.357	0.357	0.356



Tolentino				
T_R (anni)	25	50	100	200
a	48.89	54.93	60.93	66.90
n	0.246	0.241	0.237	0.234



5.2.2 Definizione delle altezze di pioggia per eventi di durata inferiore all'ora

Gli eventi di pioggia aventi durata inferiore all'ora vengono denominati eventi brevi; gli eventi brevi e quelli lunghi, precedentemente esposti, seguono differenti dinamiche meteorologiche e non possono essere trattati in egual modo, in quanto l'estrapolazione delle curve di probabilità pluviometrica a tempi inferiori ad un'ora conduce ad una sovrastima delle intensità. E' stato però dimostrato che il rapporto tra l'altezza di pioggia h , con t minore di 60 minuti, e quella 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.

Nel caso in studio per il:

- dimensionamento e la verifica degli elementi idraulici appartenenti alla rete di drenaggio della piattaforma stradale (tempi di ritorno $T_R = 25$ anni),
- per il dimensionamento dei fossi di guardia a presidio della piattaforma stradale nei tratti che si sviluppano in trincea ed rilevato (tempi di ritorno $T_R = 50$ anni);
- per il dimensionamento e la verifica delle opere di risoluzione dell'interferenze idrauliche tra l'opera in progetto ed il reticolo idrografico nel caso di bacini di limitata estensione e di relativa rapidità dei deflussi con tempi di corrivazione inferiore all'ora;

per la quali si utilizzano dati di pioggia sub orari, si applica la formula di Bell nella seguente formulazione:

$$\frac{h_{d,T}}{h_{60,T}} = 0.54 \cdot d^{0.25} - 0.5$$

applicabile per durate :

$$5 \leq \tau \leq 120 \text{ min}$$

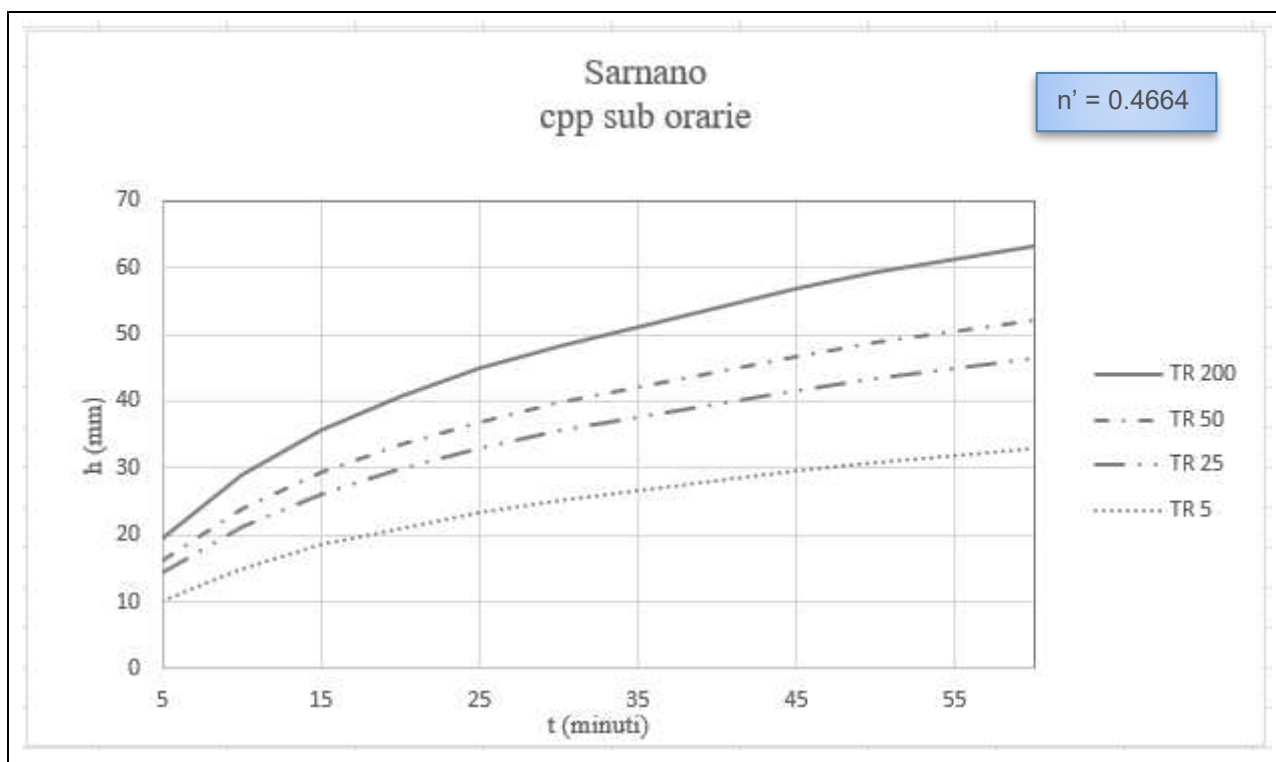
dove

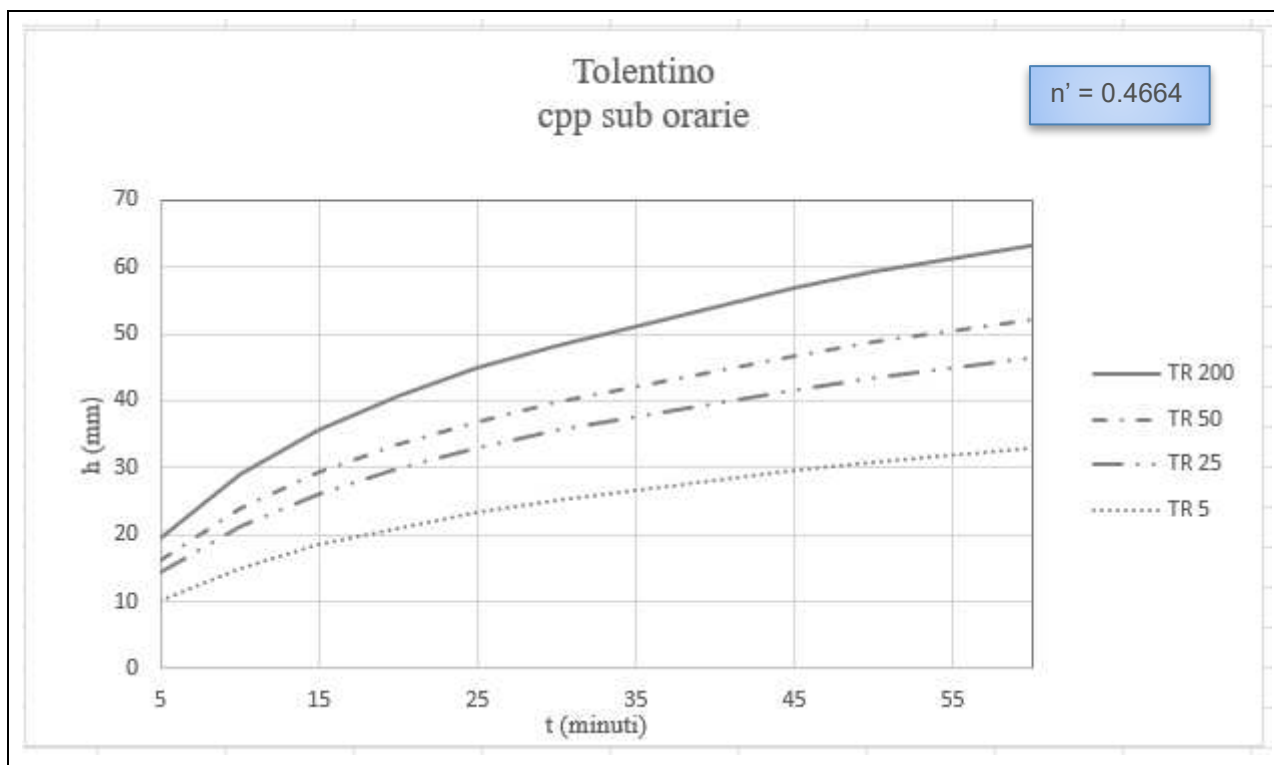
- h_{τ,T_r} indica l'altezza di pioggia relativa ad un evento pari al tempo τ riferita al periodo di ritorno T_r
- h_{60,T_r} è l'altezza di pioggia relativa ad un evento di durata pari ad un'ora, con periodo di ritorno T_r
- τ è il tempo di pioggia espresso in minuti.

Nota l'altezza di pioggia h_{τ} relativa all'evento di durata τ ($5 \leq \tau \leq 120$ min), valutata sulla base dei parametri relative alle CPP considerate (parametro $a = h_{60,T}$) e la relazione di Bell, passando ai logaritmi, le coppie altezza di pioggia-durata vengono regolarizzate con l'equazione di una retta dove il termine noto indica il parametro a e il coefficiente angolare rappresenta il parametro n' . Si riportano di seguito per le stazioni

pluviometriche interessate dall'intervento infrastrutturale stradale in progetto (Sarnano, Tolentino) i valori delle cpp in forma tabellare e grafica, stimati con la metodologia adottata per diversi tempi di ritorno :

	Sarnano	Tolentino	Sarnano	Tolentino	Sarnano	Tolentino	Sarnano	Tolentino
Tempo	h ₅	h ₅	h ₂₅	h ₂₅	h ₅₀	h ₅₀	h ₂₀₀	h ₂₀₀
(min)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
5	10.10	10.54	14.29	15.03	16.03	16.89	19.47	20.57
10	15.12	15.78	21.39	22.50	23.99	25.28	29.15	30.79
15	18.48	19.30	26.16	27.51	29.33	30.91	35.63	37.65
20	21.08	22.01	29.84	31.38	33.46	35.26	40.65	42.95
25	23.23	24.26	32.88	34.59	36.88	38.86	44.80	47.33
30	25.08	26.19	35.50	37.34	39.82	41.96	48.36	51.10
45	29.51	30.81	41.77	43.93	46.84	49.36	56.90	60.12
50	30.74	32.09	43.50	45.76	48.79	51.41	59.27	62.62
60	32.84	34.29	46.48	48.89	52.13	54.93	63.32	66.90





5.3 Metodologia VAPI

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 (DISTART 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 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.

5.3.1 VAPI regionalizzazione delle piogge

L’area interessata dagli studi comprende i bacini idrografici affluenti in destra Po compresi tra lo Scrivia ed il Panaro (Ufficio Idrografico del Po di Parma), i bacini idrografici con foce in Adriatico compresi tra il fiume Reno ed il fiume Tronto (Compartimento SIMN di Bologna), nonché quelli con foce in Tirreno tra il Serchio e l’Albegna (Compartimento SIMN di Pisa) e tra il Marta a Nord ed il Tevere a Sud (Compartimento SIMN di Roma). La rete pluviometrica cui si è fatto riferimento risulta composta da 1556 stazioni di misura con numerosità variabile da 1 a 72 anni, per 540 delle quali sono disponibili anche le osservazioni relative ai massimi annuali delle altezze di pioggia di durata inferiore al giorno, con numerosità variabile da 1 a 62 anni.

L’analisi statistica è stata condotta sulle stazioni con almeno 30 anni di osservazione, individuando così 792 stazioni di misura della precipitazione giornaliera (numerosità media campionaria 48 anni) e 240 delle piogge di durata 1-24 ore (numerosità media campionaria di 43 anni). L’analisi pluviometrica inizialmente svolta da Franchini e Galeati [1994] in riferimento al compartimento SIMN di Bologna ha portato all’identificazione di 2 sotto zone omogenee (SZO), una zona costiera ed una zona appenninica, la cui omogeneità in senso statistico è stata confermata in un successivo studio da Brath et al. [1998]. Tale studio, come già precedentemente ricordato, si estende anche ai bacini idrografici di competenza dei SIMN di Pisa e Roma. Esso ha portato alla identificazione nell’ambito delle regioni Toscana, Umbria e Lazio di due ulteriori SZO: la prima include la zona tirrenica costiera e parte della vallata del Tevere, mentre la seconda i contrafforti appenninici lungo il versante tirrenico. Un più recente studio, che integra i precedenti dati pluviometrici con quelli relativi ai bacini idrografici in destra Po compresi tra lo Scrivia e il Panaro (cfr. Brath e Franchini, 1999), ha infine condotto ad una leggera modifica nella suddivisione delle 2 SZO omogenee individuate sul versante adriatico ed alla delimitazione di 3 ulteriori SZO nel territorio di competenza dell’Ufficio Idrografico del Po di Parma. L’intero territorio indagato risulta in definitiva suddiviso in 7 SZO omogenee nei confronti delle precipitazioni intense, visualizzate nella

figura seguente, le cui curve di crescita, che determinano in maniera univoca la relazione fra periodo di ritorno T e valore del coefficiente probabilistico di crescita K_T :

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

risultano completamente definite dai parametri riportati in tabella.

Sottozona	Λ_*	θ_*	Λ_1	η
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

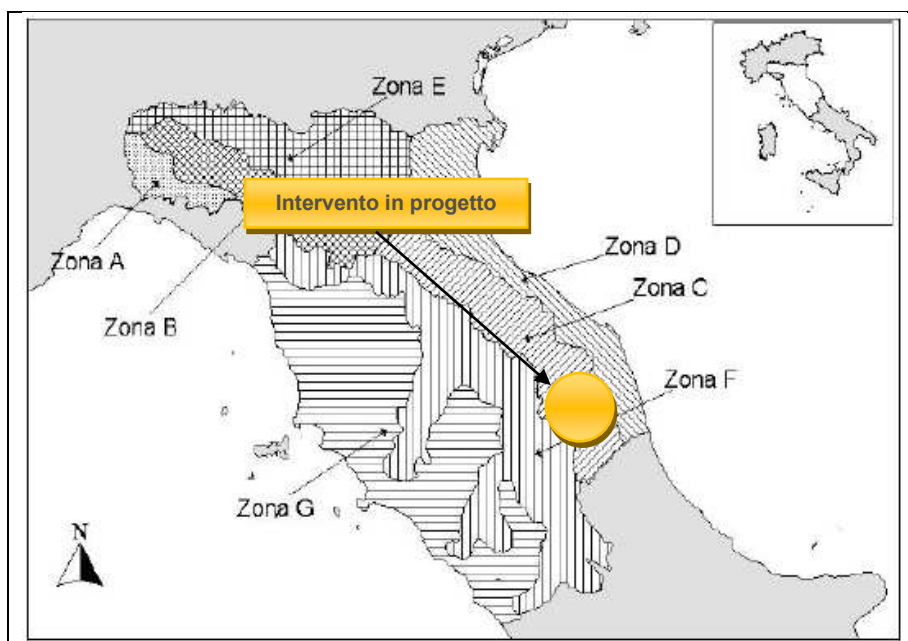


Figura 8 – VAPI Compartimenti di Bologna, Pisa e Roma, sottozone omogenee

Per un agevole utilizzo operativo delle curve di crescita occorrerebbe disporre della forma inversa della precedente equazione (*) tramite la quale, fissato il valore T del periodo di ritorno di interesse, ricavare il corrispondente valore del coefficiente di crescita K_T . Poichè per la distribuzione TCEV tale relazione non è analiticamente ottenibile, nella tabella seguente sono riportati i valori di K_T ottenuti numericamente dalla (*) per i valori del periodo di ritorno di maggior interesse pratico nel caso in studio. Ricadendo l'infrastruttura stradale in progetto in zona C si farà riferimento ai valori di K_T corrispondenti.

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

Nelle pratiche approssimazioni, è possibile anche fare riferimento ad una espressione semplificata del tipo:

$$K_T = \left(\frac{\theta_* \text{Ln } \Lambda_*}{\eta} + \frac{\text{Ln } \Lambda_1}{\eta} \right) + \frac{\theta_*}{\eta} \text{Ln } T$$

che, sostituendo gli opportuni valori dei parametri, conduce alle seguenti espressioni approssimanti, il cui uso comporta comunque per periodi di ritorno superiori a 50 anni errori sempre inferiori al 10%:

$$\text{SZO A: } K_T = -0.5064 + 0.590 \text{Ln } T$$

$$\text{SZO B: } K_T = 0.8115 + 0.292 \text{Ln } T$$

$$\text{SZO C: } K_T = 0.7952 + 0.317 \text{Ln } T$$

$$\text{SZO D: } K_T = 0.2071 + 0.510 \text{Ln } T$$

$$\text{SZO E: } K_T = -1.8986 + 0.872 \text{Ln } T$$

$$\text{SZO F: } K_T = -0.1064 + 0.473 \text{Ln } T$$

$$\text{SZO G: } K_T = 0.3431 + 0.718 \text{Ln } T$$

Le analisi dei massimi annuali delle piogge brevi (1-24 ore) rilevati alle 240 stazioni di misura disponibili hanno evidenziato che l'ipotesi solitamente assunta di un fattore probabilistico di crescita K_T costante al variare della durata di pioggia non risulta soddisfatto in 5 delle 7 SZO. Basandosi sia su risultati di carattere statistico sia su considerazioni legate alla applicabilità, quali limitare il numero di parametri di stima e porsi comunque, nei casi incerti, in condizioni conservative, in queste 5 SZO sono stati stimati, per le diverse durate, tutti o alcuni dei parametri descrittivi delle relative curve di crescita. I parametri ottenuti sono riportati nella tabella seguente.

Sottozona	Λ^*	θ^*	Λ_I	η	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	≥ 12 e 1g		
C	1.528	1.558	13.65	4.280	1		
			14.70	4.354	3		
			20.25	4.674	6		
			25.70	4.913	≥ 12 e 1g		
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	≥ 12 e 1g		
F	0.073	1.406	21.01	3.713	1		
	0.144	2.042	33.03	4.321	≥ 3 e 1g		
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 1g

La stima dei corrispondenti valori di K_T può essere dedotta dalla (*) oppure mediante le espressioni approssimanti (sopra introdotte) caratterizzate da un errore di stima inferiore al 10% per T maggiore di 50 anni. 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 si propone l'utilizzo di una formulazione analoga alla classica curva di possibilità climatica del tipo:

$$m(h_d) = m(h_1) \cdot d^n$$

$$n = (\ln[m(h_d)] - \ln[m(h_1)] - \ln r) / \ln 24 \tag{1}$$

dove :

- $m(hd)$ = media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione di durata d (ore);
- $m(hg)$ = media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione giornaliera;
- $m(h1)$ = media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione in 1 ora;
- $r = m(hg) / m(h24) = 0.89$ nella regione esaminata.

Per una pratica applicazione della curva di possibilità climatica vengono fornite le mappe isoparametriche di $m(h1)$ e di $m(hg)$ per l'intero territorio di indagine (vedi Brath e Franchini [1999] per le SZO A, B, C, D, E, e Brath et al. [1998] per le SZO G e F).

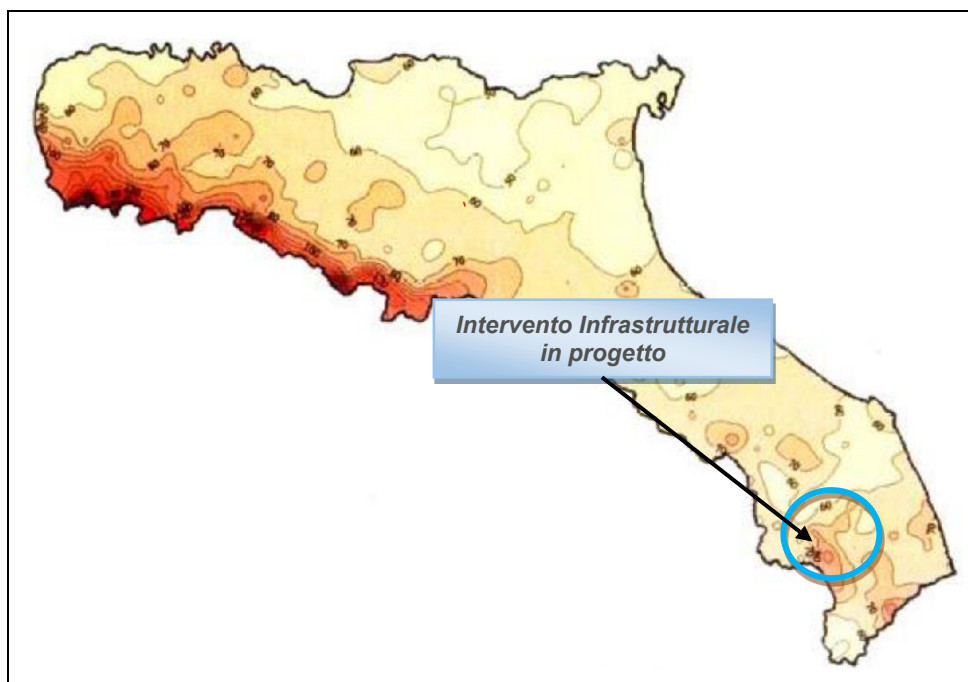
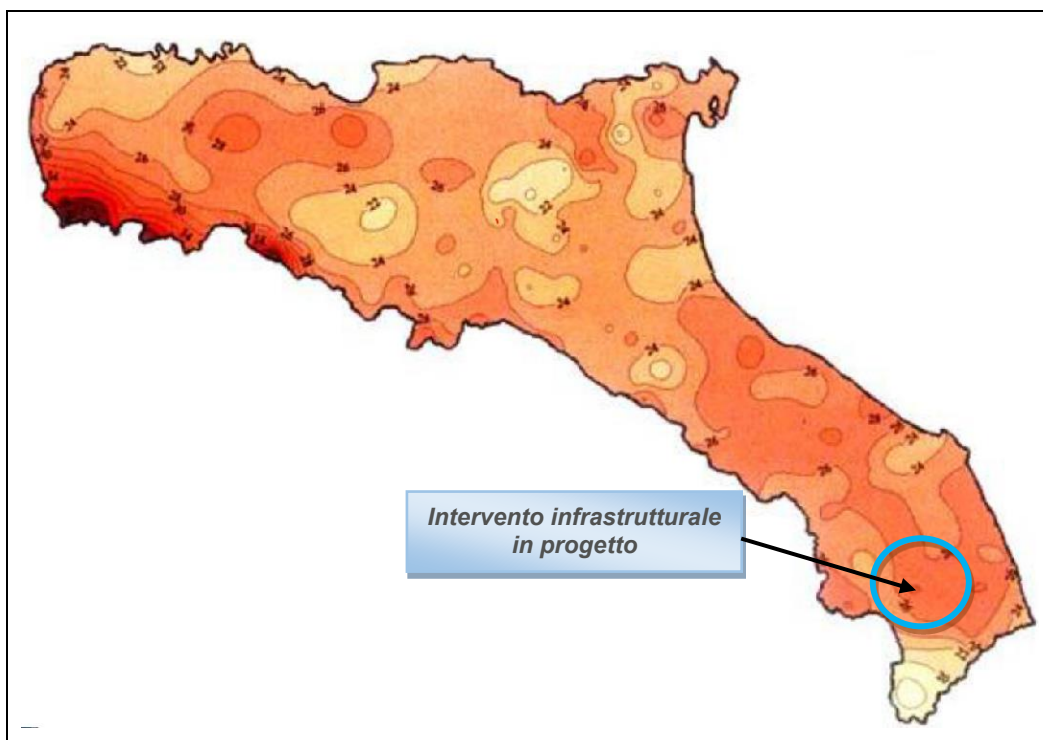


Figura 9 – Isolinie delle altezze di pioggia massima annuali della durata di 1 giorno (a) e 1 ora (b)

La stima dell'altezza di precipitazione puntuale di durata d e tempo di ritorno T_R si ottiene moltiplicando il fattore di crescita opportuno per la precipitazione indice deducibile tramite la curva di possibilità climatica equazioni (1). L'intervento infrastrutturale in studio ricade all'interno della "zona omogenea C", in cui i valori dei parametri $m(h_1)$ e $m(h_g)$ risultano rispettivamente:

- Bacino Fiume Fiastrone $m(h_1) = 26.10$ e $m(h_g) = 80.18$;
- Fosso Chienti $m(h_1) = 26.50$ e $m(h_g) = 67$;

La tabella seguente riporta i valori calcolati per i parametri a e n delle c.p.p. per i diversi tempi di ritorno di riferimento considerati.

Bacino Fiume Chienti

T_R	a	n
(anni)	(mm/ora)	
25	48.02	0.390
50	53.50	0.390
100	59.24	0.390
200	64.72	0.390

Fosso Chienti

T_R	a	n
(anni)	(mm/ora)	
25	48.76	0.329
50	54.33	0.329
100	60.16	0.329
200	65.72	0.329

5.3.2 Definizione delle altezze di pioggia per eventi di durata inferiore all'ora

Per la stima delle altezze di pioggia caratterizzate da durate sub orarie necessarie al :

- dimensionamento e la verifica degli elementi idraulici appartenenti alla rete di drenaggio della piattaforma stradale (tempi di ritorno $T_R = 25$ anni),
- per il dimensionamento dei fossi di guardia a presidio della piattaforma stradale nei tratti che si sviluppano in trincea ed rilevato (tempi di ritorno $T_R = 50$ anni);
- per il dimensionamento e la verifica delle opere di risoluzione dell'interferenze idrauliche tra l'opera in progetto ed il reticolo idrografico nel caso di bacini di limitata estensione e di relativa rapidità dei deflussi con tempi di corrivazione inferiore all'ora;

si fa riferimento ancora alla relazione adottata per la stima delle altezze pioggia di durata maggiori e uguali all'ora che viene riportata di seguito per facilità di lettura:

$$m(h_1) = m(h_2) \cdot d^n$$

$$n = (\ln[m(h_p)] - \ln[m(h_1)] - \ln r) / \ln 24 \quad (2)$$

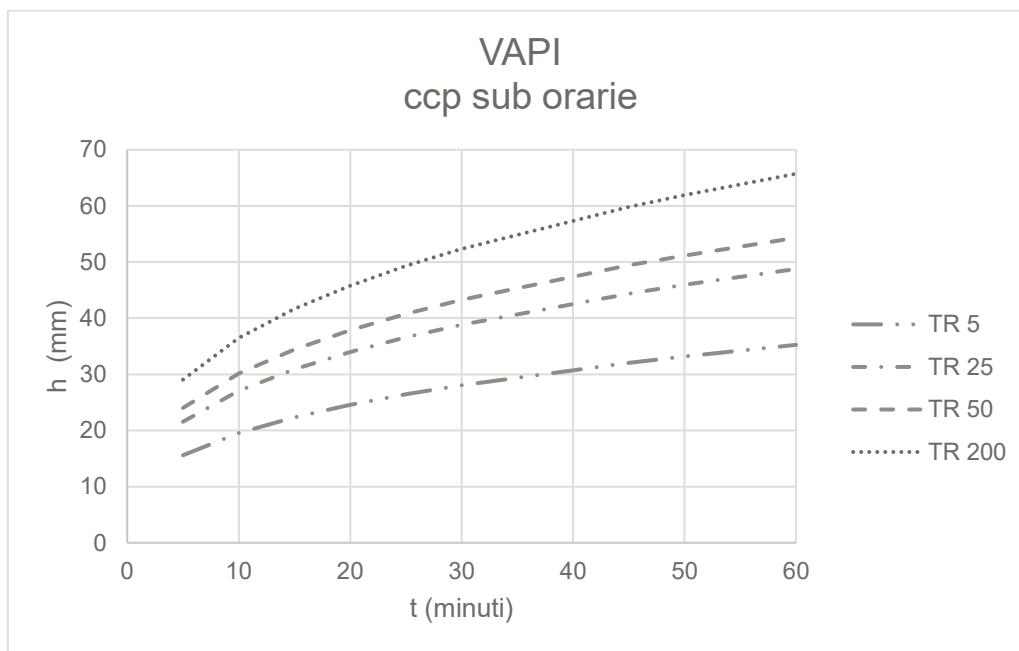
dove :

- $m(h_d)$ = media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione di durata d (ore);
- $m(h_g)$ = media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione giornaliera;
- $m(h_1)$ = media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione in 1 ora;
- $r = m(h_g) / m(h_{24}) = 0.89$ nella regione esaminata.

La stima dell'altezza di precipitazione puntuale di durata d e tempo di ritorno T_R si ottiene moltiplicando il fattore di crescita opportuno per la precipitazione indice deducibile tramite la curva di possibilità climatica equazioni (2). Per quello che concerne il dimensionamento del sistema di drenaggio dell'infrastruttura stradale in progetto e delle opere di risoluzione dell'interferenze idrauliche tra quest'ultima ed il reticolo idrografico esistente, (nel caso di bacini di limitata estensione e di relativa rapidità dei deflussi con tempi di corrivazione inferiore all'ora , ricadendo all'interno della "zona omogenea C", i valori dei parametri $m(h_1)$ e $m(h_g)$ risultano rispettivamente $m(h_1) = 26.50$ e $m(h_g) = 67$.

Si riportano di seguito i valori delle cpp in forma tabellare e grafica, stimati con la metodologia adottata per diversi tempi di ritorno:

VAPI					
Tempo	h_5	h_{25}	h_{50}	h_{100}	h_{200}
(min)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
5	15.58	21.55	24.01	26.59	29.05
10	19.56	27.07	30.15	33.39	36.48
15	22.35	30.92	34.45	38.15	41.68
20	24.57	33.99	37.87	41.93	45.81
25	26.44	36.57	40.75	45.12	49.29
30	28.07	38.83	43.26	47.90	52.34
45	32.07	44.36	49.43	54.73	59.79
50	33.20	45.93	51.17	56.66	61.90
60	35.25	48.76	54.33	60.16	65.72



5.3.3 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, quindi, sono stati considerati quelli ottenuti dalle seguenti fonti:

- Applicazione del metodo di Gumbel ai dati pluviometrici ricavati dagli Annali idrologici forniti dal sito dell'Ispra e dalla Protezione civile Regione Marche:
- Metodologia VAPI.

Valori delle cpp per piogge orarie

TR (anni)	VAPI				Elaborazione statistica					
	F. Fiastrone		F. Chienti		Bolognola		Sarnano		Tolentino	
	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n
25	48.02	0.390	48.76	0.329	42.43	0.4861	46.48	0.357	48.89	0.246
50	53.5	0.390	54.33	0.329	47.48	0.4866	52.13	0.357	54.93	0.241
200	64.72	0.390	65.72	0.329	57.49	0.4873	63.32	0.356	66.90	0.234

Valori delle cpp per sub orarie

	VAPI	Sarnano	Tolentino	VAPI	Sarnano	Tolentino	VAPI	Sarnano	Tolentino	VAPI	Sarnano	Tolentino
Tempo	h ₅	h ₅	h ₅	h ₂₅	h ₂₅	h ₂₅	h ₅₀	h ₅₀	h ₅₀	h ₂₀₀	h ₂₀₀	h ₂₀₀
(min)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
5	15.58	10.10	10.54	21.55	14.29	15.03	24.01	16.03	16.89	29.05	19.47	20.57
10	19.56	15.12	15.78	27.07	21.39	22.50	30.15	23.99	25.28	36.48	29.15	30.79
15	22.35	18.48	19.30	30.92	26.16	27.51	34.45	29.33	30.91	41.68	35.63	37.65
20	24.57	21.08	22.01	33.99	29.84	31.38	37.87	33.46	35.26	45.81	40.65	42.95
25	26.44	23.23	24.26	36.57	32.88	34.59	40.75	36.88	38.86	49.29	44.80	47.33
30	28.07	25.08	26.19	38.83	35.50	37.34	43.26	39.82	41.96	52.34	48.36	51.10
45	32.07	29.51	30.81	44.36	41.77	43.93	49.43	46.84	49.36	59.79	56.90	60.12
50	33.20	30.74	32.09	45.93	43.50	45.76	51.17	48.79	51.41	61.90	59.27	62.62
60	35.25	32.84	34.29	48.76	46.48	48.89	54.33	52.13	54.93	65.72	63.32	66.90

Il confronto tra i valori orari delle altezze di pioggia e di quelle sub orarie ottenuti mediante l'applicazione delle due metodologie evidenzia come il metodo VAPI sia più cautelativo rispetto al metodo di Gumbel, unica eccezione è rappresentata dalla stazione pluviometrica di Tolentino, che fornisce valori di altezza pioggia superiori, nell'applicazione di tale metodologia. rispetto ai valori ottenuti con la procedura VAPI. con differenze quantificabili nell'ordine del millimetro.

Nel prosieguo del presente studio, pertanto, anche a fronte del vantaggio nell'utilizzo di una uniforme metodologia di verifica e dimensionamento, verranno adottati i valori delle CPP orari e sub orarie fornite dall'applicazione della procedura di regionalizzazione delle piogge del VAPI.

5.3.4 Altezza di pioggia e coefficiente di riduzione areale

E' 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 km², 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:

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

I coefficienti c₁, c₂, c₃ sono stati stimati con riferimento ad un'area rappresentata dal bacino del fiume Reno chiuso a Casalecchio (S=1051 km²), utilizzando 5 anni di dati di precipitazioni orarie rilevate in 30 stazioni pluviografiche. I valori dei coefficienti sono:

- C₁= -0.01298
- C₂= -0.67
- C₃= 0.33

6 STIMA DELLE PORTATE DI PROGETTO

6.1 Premessa

Scopo del presente capitolo è la descrizione della metodologia utilizzata per la stima delle portate di progetto necessarie per il dimensionamento e la verifica delle opere di risoluzione dell'interferenze idrauliche tra l'opera stradale in progetto ed il reticolo idrografico esistente TR = 200 anni.

Tale operazione sarà condotta grazie all'utilizzo del metodo della corrivazione.

6.2 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 loro trasferimento lungo il reticolo idrografico avvengono senza la formazione di invasi significativi; nel caso si formino invasi significativi il colmo di piena calcolato con questa metodologia sarà sovrastimato.

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 (km²);

t_c = 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 (H_{max}) minima (H_{min}) e media (H_{med}) 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 di p per diversi tempi di ritorno;
- analisi dei dati di copertura e vegetazione per la valutazione del coefficiente di deflusso;
- calcolo della portata di massima piena per un tempo di ritorno T_R 200 anni.

6.3 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 gli elaborati *T01SG00IDRCO01A "Corografia dei bacini idrografici"*-*T01SG00IDRCO02A "planimetria delle interferenze idrografiche"* per i bacini interferenti la viabilità in studio.

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

- modello digitale del terreno Tinitaly con risoluzione 10.00m x 10.00m disponibile nel sito del INGV (Istituto Nazionale Geologia e Vulcanologia);
- carta Tecnica Regionale in scala 1:10000;
- carta dell'uso del Suolo della regione Marche (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 ²)	L (Km)	H _{max} (m)	H _{min} (m)	H _{med} (m)	P (-)
Fosso Chienti	1.55	1.935	614.41	340.54	427.55	0.142	1.55
Fiume Fiastrone	129.50	31.725	2102.77	295.61	996.18	0.057	129.50
-	0.29	1.027	543.32	366.62	455.05	0.172	0.29

6.4 Tempo di corrivazione

La determinazione del valore del tempo di corrivazione viene eseguita in accordo con lo "Studio per la mitigazione del rischio idrogeologico – Indagine condotta sui bacini idrografici dei fiumi Misa, Esino, Musone, Potenza, Chienti e Tenna" condotto dal Consorzio di Bonifica delle Marche. Essendo molteplici i metodi disponibili in letteratura, il valore del tempo di corrivazione è stato ottenuto calcolando la "media troncata" fra cinque dei sette metodi di solito utilizzati e di seguito enunciati escludendo il 40% dei valori dalla coda superiore e inferiore (2 valori).

- Giandotti

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

dove:

L = lunghezza dell'asta principale [km];

A = superficie del bacino sotteso dall'attraversamento [km²];

ΔH = dislivello medio del bacino imbrifero [m]

- Pezzoli

$$t_c = 0.055 \cdot \frac{L}{\sqrt{i}}$$

dove:

L = lunghezza dell'asta principale [km];

i = pendenza del corso d'acqua principale [-];

- Puglisi

$$t_c = 6 \cdot L^{\frac{2}{3}} \cdot (h_{max} - h_{min})^{-\frac{1}{3}}$$

dove:

L = lunghezza dell'asta principale [km];

hmax = quota massima bacino [m];

hmin = quota minima bacino [m];

- Ventura

$$t_c = 0.127 \frac{\sqrt{A}}{\sqrt{i}}$$

dove:

A = superficie del bacino sotteso dall'attraversamento [km²];

i = pendenza del corso d'acqua principale [-];

- Kirpich

$$t_c = 0.95 \cdot (L)^{1.155} \cdot S^{-0.385}$$

dove:

L = lunghezza dell'asta principale [km];

S= pendenza media del bacino [m];

- Tournon

$$t_c = \frac{0.396 \cdot L}{\sqrt{i}} \cdot \left(\frac{A}{L^2} \cdot \sqrt{\frac{i}{i_v}} \right)^{0.72}$$

dove:

L = lunghezza dell'asta principale [km];

A = superficie del bacino sotteso dall'attraversamento [km²];

i = pendenza del corso d'acqua principale [-];

i_v = pendenza media del versante [-];

Si riportano di seguito i tempi di corrivazione per ogni metodo sopra riportato e la media troncata ad essa applicata

Bacino	Pk	Giandotti	Kirpich	Ventura	Pezzoli	Tournon	Puglisi	Media troncata 40%	Tc di progetto
-	(km)	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]
Fosso Chienti		0.67	0.23	0.72	0.28	0.36	1.43	0.45	0.45
Fiume Fiastrone		2.15	2.87	10.35	7.31	2.07	4.94	5.04	2.15
-		0.29	0.13	0.28	0.14	0.12	1.09	0.18	0.13

6.5 Stima della pioggia di progetto

Per tutti i corsi d'acqua di interesse, sono stati stimati valori dei parametri m₁ e m_G attraverso i quali si determinano i coefficienti a e n delle curve di possibilità pluviometrica per un tempo di ritorno T_R pari a 200 anni.

Si riportano di seguito i parametri utilizzati in funzione della sottozona di appartenenza per un tempo di ritorno Tr=200 anni.

Bacino	Progressiva	Sottozona	K _{Tr=200}	μ _{h1}	μ _{hg}	μ _{hd}	a ₂₀₀	n ₂₀₀
-	Km	-	-	mm	mm	mm	mm/h	-
Fosso Chienti		C	2.48	26.5	67	20.43	71.38	0.329
Fiume Fiastrone		C	2.48	26.10	80.18	35.18	64.72	0.390
-		C	2.48	26.5	67	13.68	71.38	0.329

6.6 Coefficiente di deflusso e portate di progetto

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. In mancanza di adeguate osservazioni utili. per la stima di I_a si può fare ricorso alla seguente relazione:

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

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.
- 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.

PROGETTO DEFINITIVO

- 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.

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.

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

Tipologia di U so del Territorio	Tipo idrologico Suolo			
	A	B	C	D
Terreno coltivato				
in presenza di pratiche di conservazione del suolo	62	71	78	81
in assenza di pratiche di conservazione del suolo	72	81	88	91
Terreno a pascolo				
in cattive condizioni	68	79	86	89
in buone condizioni	39	61	74	80
Terreni boscosi o forestati				
in presenza di copertura rada e senza sottobosco	45	66	77	83
in presenza di copertura fitta e con sottobosco	25	55	70	77
Spazi aperti, prati rasati, parchi				
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
Area commerciali (area impermeabile 85%)	89	92	94	95
Distretti industriali (area impermeabile 72%)	81	88	91	93
Area residenziali				
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
Parcheggi, tetti, autostrade	98	98	98	98
Strade				
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

Metodo SCS-CN; 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 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** 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).

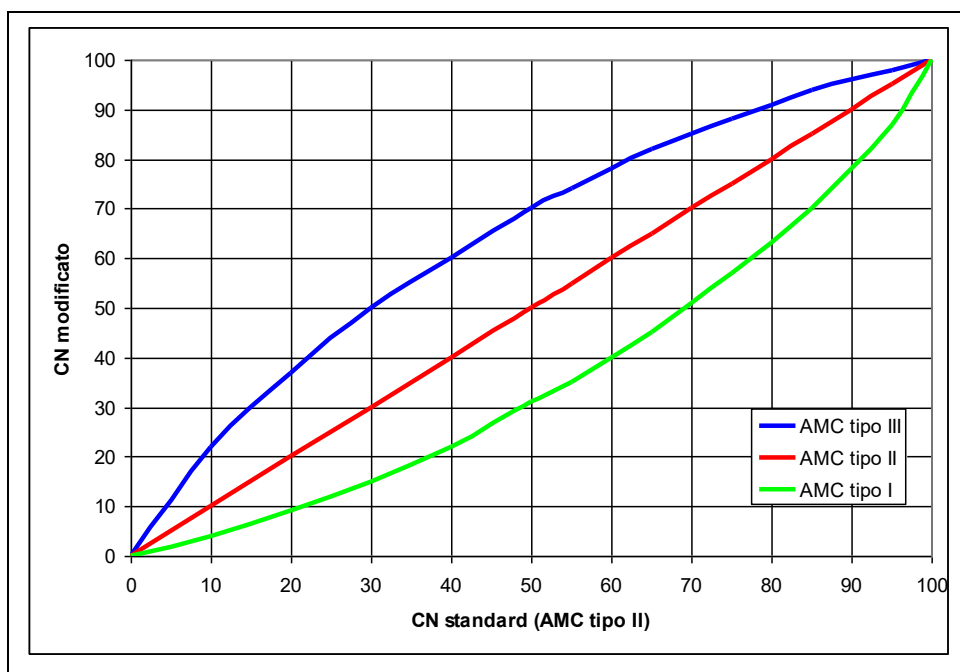
Poiché il rifiuto del terreno è un fenomeno dinamico. che dipende dallo stato del sistema. ovvero dallo stato di imbibimento del bacino. si assume che il valore di CN possa variare in relazione alle condizioni iniziali di

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. API₅. a seconda del valore di API₅, 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 API₅

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:

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

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

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;
- 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;
- Carta Geolitologica d'Italia _Portale Cartografico Nazionale Ministero dell'Ambiente.
- Allegato 5 “*Criteri per l'individuazione dei complessi idrogeologici, degli acquiferi e dei corpi idrici sotterranei della regione Marche*” del “Piano Regionale per la Bonifica delle aree Inquinata” della Regione Marche (Deliberazione Amministrativa del Consiglio regionale n. 11 del 14/09/2007),
- Runoff Curve Number method: examination of the initial abstraction ratio_D.E. Woodward-R.Jiang-A. Hjelmfelt jr.et altri;

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 C (potenzialità di deflusso superficiale moderatamente alta) per tutti i bacini in studio,

Per tutti i bacini in studio si è supposta, in favore di sicurezza, una condizione iniziale di imbibimento corrispondente a valori di CN (III).

Si riportano nella tabella seguente i risultati delle elaborazioni. Si riportano nelle tabelle seguenti i risultati delle elaborazioni; nell'ultima colonna si indicano le portate ricavate per ogni attraversamento tramite la quale si dimensiona e verifica l'opera di progetto associata.

Bacino	Tipo idrologico suolo	CNII	CNII	P(t)	S	I	coeff. ϕ	Q ₂₀₀
-	-			mm	mm	mm	-	(m ³ /s)
Fosso Chienti	C	77.64	89.0	29.06	31.46	6.29	0.53	14.77
Fiume Fiastrone	C	76.37	88.3	30.29	33.79	6.76	0.53	267.63
-	C	81.17	90.9	17.60	25.34	5.07	0.48	5.12