

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"

Lavori di adeguamento e/o miglioramento tecnico funzionale della sezione stradale in t.s. e potenziamento delle intersezioni - 1° Stralcio lungo la S.S. n. 210 "Fermana Faleriense" - Amandola - Servigliano"

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Ing. Eugenio Moroni Ordine Roma n° 10020	IMPRESA CONCORRENTE A.T.I.: Mandataria:  Mandante: 
IL GEOLOGO Dott.ssa Geol. Maria Bruno Ordine dei Geologi del Lazio al n° 668	RTP DI PROGETTAZIONE: Mandataria:  Structure and Transport Engineering Mandanti:  Dott. Geol. M. BRUNO
COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE Ing. Francesco M. La Camera Ordine Roma n° 7290	Direttore Tecnico Ing. E. Moroni Ordine Ing. Roma N. 10020 Direttore Tecnico Ing. G. Grimaldi Ordine Ing. Roma N. 17703A Ordine Geologi Lazio N. 668

IDROLOGIA E IDRAULICA
 Relazione idrologica ed idraulica

CODICE PROGETTO			NOME FILE		REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV.PROG.	ANNO	T03_ID00_IDR_RE01_A			
A N 2 6 6	D	2 3	CODICE ELAB. T 0 3 I D 0 0 I D R R E 0 1		A	-
D						
C						
B						
A	Prima Emissione		Nov. 2023	SPAGNOLO	ALESSANDRONI	LA CAMERA
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

Sommario

1	PREMESSA.....	2
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	3
3	ANALISI IDROLOGICA.....	6
3.1	QUADRO NORMATIVO DI PIANIFICAZIONE IDRAULICA	6
3.2	PLUVIOMETRIA	7
3.2.1	<i>Regionalizzazione delle piogge VAPI.....</i>	8
3.2.1.1	<i>Verifica della regionalizzazione del metodo VAPI: Piogge brevi.....</i>	12
3.2.2	<i>Stima locale delle relazioni IDF.....</i>	14
3.2.3	<i>Legge Intensità-Durata-Frequenza</i>	14
3.2.4	<i>Distribuzione di probabilità dell'intensità di pioggia oraria.....</i>	16
3.2.5	<i>Risultati della stima locale</i>	17
4	CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA DI PROGETTO.....	22
4.1	MODELLO AFFLUSSI-DEFLUSSI	22
4.1.1	<i>Tempo di concentrazione</i>	23
4.1.2	<i>Curve Number.....</i>	23
4.1.3	<i>Determinazione del CN.....</i>	25
4.1.4	<i>Coefficienti di deflusso.....</i>	32
4.1.5	<i>Intensità di pioggia e portate di progetto.....</i>	32
5	DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DEGLI ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI.....	34
5.1	RIFERIMENTI NORMATIVI	34
5.2	VERIFICA IDRAULICA DEI TOMBINI	36

1 PREMESSA

La presente relazione si riferisce allo studio eseguito per la definizione dei caratteri idrologici dei bacini idrografici sottesi dalle interferenze degli assi stradali con il reticolo idrografico superficiale per il Progetto Definitivo "LAVORI DI ADEGUAMENTO E/O MIGLIORAMENTO TECNICO FUNZIONALE DELLA SEZIONE STRADALE IN T.S. E POTENZIAMENTO 1° STRALCIO LUNGO LA S.S. N. 210 "FERMANA FALERIENSE" - AMANDOLA - SERVIGLIANO".

Le analisi condotte sul Progetto di Fattibilità Tecnico Economica hanno confermato la necessità di approfondire alcuni aspetti legati allo studio idrologico ed idraulico. Con particolare riferimento all'idrologia ed alla definizione delle portate di progetto, sono state condotte e confrontate più elaborazioni statistiche condotte su una serie storica più robusta.

Con riferimento al modello afflussi-deflussi scelto, si è proceduto a ridefinire il coefficiente di permeabilità ϕ dei bacini oggetto di studio sulla base delle caratteristiche geologiche e sulla base delle indagini geotecniche disponibili.

Per ciò che riguarda le verifiche idrauliche delle opere d'arte minori quali tombini le sezioni di progetto scelte sono state verificate sulla base delle nuove portate di progetto ottenute e verificate secondo le disposizioni delle NTC2018 e relativa Circolare Esplicativa.

In sintesi l'oggetto dello studio è la definizione dei valori di colmo delle massime portate di piena necessarie per lo studio idraulico, con riferimento sia al dimensionamento idraulico delle opere di attraversamento stradale dei corsi d'acqua, sia alla verifica della compatibilità idraulica delle opere proposte con l'assetto idrogeologico delle aste fluviali, così come definito nell'ambito delle vigenti norme, direttive e strumenti di pianificazione di bacino.

Lo studio idrologico è propedeutico, quindi, alle analisi di compatibilità idraulica delle opere di attraversamento dei corsi d'acqua e al dimensionamento e verifica delle opere medesime, temi trattati nel capitolo dedicato all'Analisi Idraulica.

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'opera in progetto ricade nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale (ABDAC) e in particolare nei bacini di competenza dell'UoM Ex Autorità di Bacino Regionale delle Marche, come mostrato nella figura 1.

Da un punto di vista amministrativo (figura 2) l'opera in progetto ricade nel territorio del comune di Servigliano, nella provincia di Amandola. Il tracciato di progetto, seppur ricadente nel Bacino del Fiume Tenna, non ne attraversa l'alveo ma interferisce solo con i suoi affluenti secondari quali Fosso Valle Cupa, Fosso di San Gualtiero, Fosso Valentella, Fosso Parapina, Fosso Castellano ed altri piccoli fossi senza nome. Questi presentano tutti sottobacini idrografici di estensione ridotta ed una conformazione per lo più omogenea ed allungata verso il Fiume.

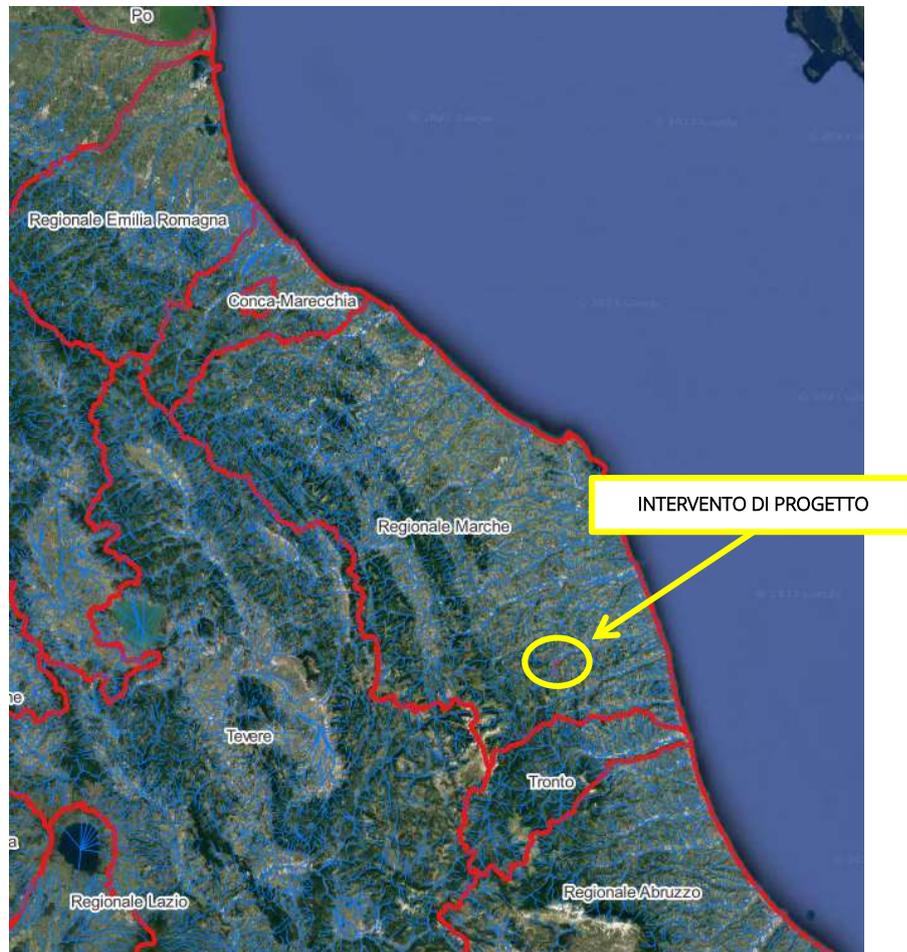


Figura 1: Ubicazione dell'opera in progetto (Bacino Regionale delle Marche)

Nella figura 2 è evidenziato il pluviometro registratore di Servigliano, utilizzato per le elaborazioni pluviometriche che risulta essere prossimo alla localizzazione dell'infrastruttura di progetto.

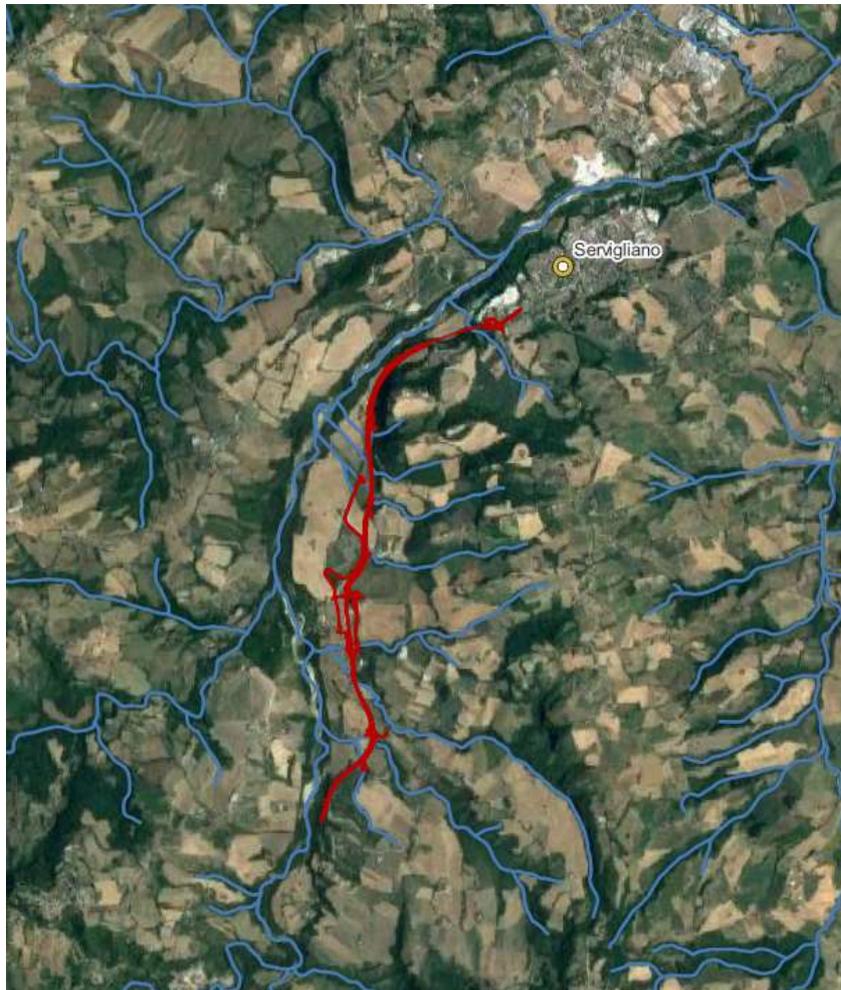


Figura 2: Ubicazione dell'opera in progetto su un'immagine aerea recente (Google Earth 2021)

IMPRESA A.T.I.:

PROGETTISTA RTP:

MANDATARIA:

MANDANTE:

MANDATARIA:

MANDANTI:

MONACO Sp.A.
Costruzioni generali

IR COP
Costruzioni generali

S.T.E. s.r.l.
Structure and Transport Engineering

E.D.IN. s.r.l.
Società di Ingegneria

Dott. Geol.
MARIA BRUNO

PAG. 5 DI 38

3 ANALISI IDROLOGICA

3.1 Quadro Normativo di pianificazione idraulica

L'area interessata dall'infrastruttura ricade interamente all'interno del territorio che fa riferimento al Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI) Regione Marche redatto dall'ex Autorità di Bacino Regionale della Marche nel 2001 e aggiornato a seguito del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) redatto, ai sensi della Direttiva Alluvioni 2007/60/CE e del successivo D.Lgs. 49/2010, dall' ABDAC nel 2021. Il Piano ha prodotto, lungo le aste dei corsi d'acqua modellati, la mappatura delle aree di pericolosità e di rischio idraulico a cui fare riferimento nella progettazione. Allo stato attuale di redazione il PAI della Regione Marche prevede, lungo l'estensione dell'asta fluviale del Tenna, aree classificate a rischio idrogeologico R1 ovvero di Rischio Moderato.

Le prescrizioni vigenti per le aree a rischio R1 consentono, al Cap.6 comma c), la realizzazione di *"[...] interventi relativi a nuove infrastrutture tecnologiche a rete e viarie in attraversamento che non determinano pericolosità idraulica, previo parere vincolante della Autorità idraulica competente"*

Le principali leggi nazionali in materia di acqua e di opere idrauliche sono:

- RD 523/1904: Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie;
- RD 215/1933: Nuove norme per la bonifica integrale

Dal punto di vista di progettazione idraulica, i riferimenti normativi ai quali si deve attenere il progettista degli attraversamenti fluviali sono contenuti nel Decreto Ministeriale del 2 agosto 1980 e in quello del 4 maggio 1990, ai quali ha fatto seguito la Circolare n. 34233 emanata in data 25 febbraio 1991 dal Ministero dei Lavori Pubblici, recante "Istruzioni relative alla normativa tecnica dei ponti stradali".

Recentemente il DM 17/01/18 più noto come "Norme Tecniche per le Costruzioni" e successivamente la Circolare esplicativa n. 7 del 21-01-2018 ha integrato in alcune parti, riguardanti prevalentemente le azioni da prevedere per i calcoli statici, le norme dei precedenti decreti.

Le norme prescrivono di assumere normalmente quale portata di progetto quella corrispondente a un tempo di ritorno non inferiore a duecento anni per la quale i calcoli idraulici dovranno verificare la sussistenza di un franco minimo tra il livello di massima piena e l'impalcato del ponte (di 1,5 m).

Per quanto riguarda l'inserimento dell'opera di attraversamento nell'ambito delle aree di pertinenza del corso d'acqua le norme prevedono che il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati il corso d'acqua attivo e, se arginato, i corpi arginali. Qualora eccezionalmente fosse necessario realizzare pile in alveo, la luce minima tra pile contigue, misurata ortogonalmente al filone principale della corrente, non dovrà essere inferiore a 40 metri. Soluzioni con luci inferiori potranno essere autorizzate dall'Autorità competente, previo parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Nel caso di pile e/o spalle in alveo cura particolare è da dedicare al problema delle escavazioni dell'alveo e alla protezione delle fondazioni delle pile e delle spalle.

In allegato alle NTC 2018 è stata successivamente integrata la Circolare Esplicativa che definisce la portata massima transitabile all'interno dei tombini, pari a 50 mc/s, e di eseguire le verifiche idrauliche considerando metà della sezione utile del tombino ostruita, laddove siano da temersi ostruzioni al deflusso causate dal transito di detriti galleggianti. In alternativa può essere prevista una griglia selettiva poco più a monte dell'imbocco del tombino opportunamente dimensionata e corredata di relativo piano di manutenzione.

3.2 Pluviometria

Per lo studio delle piene dei corsi d'acqua interessati si è fatto riferimento alla regionalizzazione delle piogge intense riportata nel "Rapporto sulla Valutazione delle Piene (VAPI) in Italia" relativo alla regione Marche e realizzata nel Compartimento di Ancona del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN) dal GNDICI (Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche) e dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR). Sono stati inoltre acquisiti i dati pertinenti le registrati dalle stazioni pluviografiche del Centro Funzionale e Ufficio Idrografico della Regione Marche che ricadono in prossimità dei bacini interessati.

E' stata considerata rappresentativa la stazione di Servigliano la quale si dispone di robusti record di registrazione dei massimi annuali per le durate inferiori al giorno (53 anni), quest'ultime di particolare interesse per lo studio dei sottobacini interessati dal presente progetto.

3.2.1 Regionalizzazione delle piogge VAPI

La regionalizzazione delle piogge del Compartimento di Ancona, sviluppata nell'ambito del Progetto VAPI, copre gran parte dei bacini della Regione Toscana, tutti i bacini dei fiumi della Regione Marche ed Umbria e parte dei bacini della Regione Lazio. La regionalizzazione fu redatta utilizzando i dati di precipitazione relativi al periodo 1918-1984.

La procedura VAPI fornisce la distribuzione di probabilità del massimo annuale dell'intensità di durata t (h), i_t (mm/h), secondo una distribuzione TCEV (Two Component Extreme Value)

$$P(k) = e^{-\Lambda_1 e^{-\eta k} - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\theta_*} e^{-\eta k/\theta_*}} \quad (3.1)$$

dove k è il coefficiente di crescita della precipitazione, tale per cui l'intensità di precipitazione relativa alla durata t (h) e con tempo di ritorno T (anni) si esprime come $i_t(T) = \mu(i_t)k(T)$, dove $\mu(i_t)$ (mm/h) è la media della distribuzione di probabilità di i_t . Nella relazione (3.1) Λ_* e θ_* sono i parametri al primo livello di regionalizzazione (l'area in cui si può considerare costante il coefficiente di asimmetria) mentre Λ_1 e η sono i parametri al secondo livello di regionalizzazione (le aree, incluse nella prima, in cui si può considerare costante anche il coefficiente di variazione). Per il compartimento di Ancona si sono assunte sette sottozone pluviometriche omogenee (figura 3), i cui parametri caratteristici sono riportati nella tabella 1.

Sottozona	θ_*	Λ_*	Λ_1	η
A	2.361	0.109	24.70	4.001
B	1.588	1.528	39.20	5.335
C	1.588	1.528	25.70	4.913
D	2.363	0.361	29.00	4.634
E	3.607	0.044	30.45	4.135
F	2.042	0.144	33.03	4.321
G	3.322	0.221	30.78	4.628

Tabella 1: Primo e secondo livello di regionalizzazione: parametri per le 7 sottozone omogenee

Più utile dal punto di vista pratico è la forma inversa della (3.1) per cui, fissato un valore del tempo di ritorno T , si ricava il corrispondente valore del coefficiente di crescita k_T . La distribuzione TCEV non è analiticamente invertibile, pertanto i valori di k corrispondenti a diversi valori del tempo di ritorno sono riportati nella tabella 2; tali valori sono ben approssimati dalla relazione semplificata:

$$k_T = \frac{1}{\eta} (\theta * \ln \Lambda^* + \ln \Lambda_1 + \theta * \ln T) \quad (3.2)$$

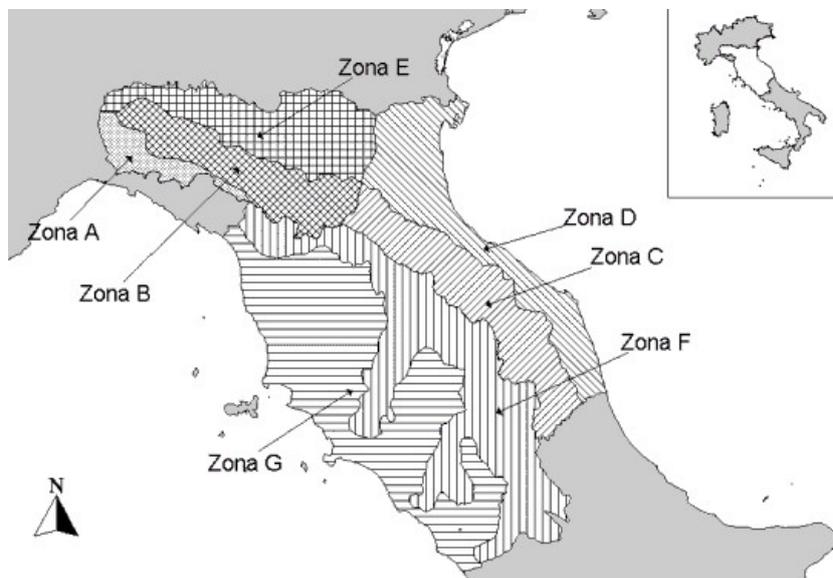


Figura 3: Primo e secondo livello di regionalizzazione: sottozone pluviometriche omogenee (SZO, VAPI Comparto Ancona)

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

Tabella 2: Valori del coefficiente probabilistico di crescita, k_T , per alcuni valori del tempo di ritorno T , per le 3 sottosezioni omogenee

Il terzo livello di regionalizzazione consiste nella individuazione di legami tra valori medi delle serie storiche ed i parametri geografici che caratterizzano le località in cui sono installate le stazioni di misura. Nel caso del compartimento di Ancona si fa riferimento ad una pioggia indice di durata t utilizzando una formulazione analoga alla classica curva di possibilità climatica del tipo:

$$\mu(h_t) = \mu(h_1) \cdot t^n \quad (3.3)$$

Con

$$n = (\ln[\mu(h_g)] - \ln[\mu(h_1)] - \ln(r)) / \ln(24) \quad (3.4)$$

Dove:

$\mu(h_t)$ = media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione di durata t (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

$$r = \frac{\mu(h_g)}{\mu(h_{24})} = 0.89 \text{ nella regione esaminata}$$

I valori di $\mu(h_1)$ e $\mu(h_g)$ sono desunte da mappe isoparametriche per l'intero territorio di indagine per tutte le Sottozone Pluviometriche Omogenee e riportate nella Figura 4a) e Figura 4b).



Figura 4: Rispettivamente mappe isoparametriche di pioggia media giornaliera e pioggia media oraria per tutte le sottozone pluviometriche omogenee

I parametri delle relazioni (3.3) e (3.4), desunti dalle mappe sopra esposte sono riportati nella tabella 3 per la zona di interesse:

Valore Pioggia Media Giornaliera	Valore Pioggia Media Oraria
60.00	26.5

Tabella 3: Terzo livello di regionalizzazione: regionalizzazione delle piogge orarie. Elementi caratteristici delle aree pluviometriche omogenee

3.2.1.1 Verifica della regionalizzazione del metodo VAPI: Piogge brevi

Dato che la durata delle precipitazioni che mette in crisi i bacini in esame è generalmente inferiore alla giornaliera, per i bacini principali, e inferiore all'ora, per i bacini secondari, è di fondamentale importanza verificare il buon adattamento del modello di precipitazione intensa VAPI rispetto alle osservazioni pluviometriche di breve durata, aggiornate per tenere conto degli eventi più recenti fino al 2021.

Nella figura 4 si mostra l'adattamento della distribuzione VAPI per le durate di 1, 3, 6 e 12 ore significative per i bacini principali e secondari, con riferimento alle registrazioni aggiornate al 2021 delle altezze di pioggia di massima intensità e breve durata, riportate rispettivamente nella tabella dalla 4.

Dalle figure si evince come la distribuzione VAPI per le piogge intense con il campione aggiornato, tenda a sottostimare i valori estremi, principalmente per le durate minori.

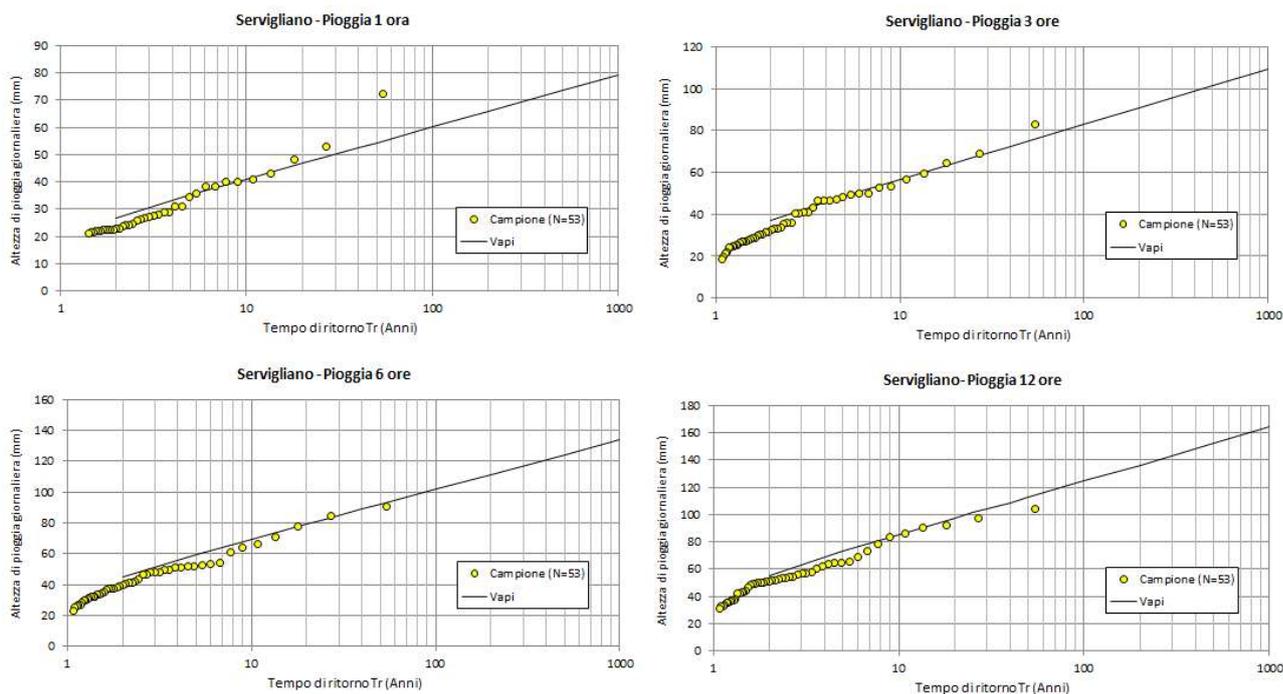


Figura 5: Adattamento della distribuzione regionale ai campioni empirici aggiornati delle massime intensità di 1, 3, 6 e 12 ore

Servigliano											
Anno	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore	Anno	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
1950	16.4	18.2	22.8	29	31.8	2008	13.4	24.8	38.2	60.8	66.4
1951	24.8	30.6	33.4	35.4	44.8	2009	38.4	68.8	78	92.4	116.2
1952	21	21.2	26.8	47	75.6	2010	20.4	32.6	36.4	50.8	56.2
1953	19	36	52	73	113.8	2011	22	46.8	71.2	97.2	132.4
1954	72.2	82.8	84.4	86.2	86.2	2012	31.2	49.6	90.6	104.2	122
1955	24	26.8	28	49	63	2013	27	35.6	37.2	57.4	92
1956	18.4	18.8	29.6	37.2	54	2014	22.6	46.8	46.8	57.2	60.2
1957	19.8	25.2	26.2	33.4	42.4	2016	53.2	56.8	60.8	61.8	73
1958	23	28.8	30.8	35.4	46	2017	21.6	27.2	35.4	57.8	95.2
1960	34.4	49.8	49.8	50	50.2	2018	31	33.4	33.6	42.4	57
1961	21	26.2	46.4	90.6	118.6	2019	26.8	26.8	34.8	42.4	47.2
1962	36	41.2	41.6	44	57.6	2020	41	41	41	43.4	67.6
1964	29	31.6	32.4	33	45.8	2021	22.4	40.4	50.8	64.4	88.4
1965	38.2	50.2	51.6	51.6	51.8	2008	13.4	24.8	38.2	60.8	66.4
1966	40	53.2	53.2	53.2	63.4	2009	38.4	68.8	78	92.4	116.2
1967	24.4	28.6	31.8	52.4	70.6	2010	20.4	32.6	36.4	50.8	56.2
1968	29	59.6	66.6	78.6	89.2	2011	22	46.8	71.2	97.2	132.4
1969	22.4	25	26.6	31.6	58.2	2012	31.2	49.6	90.6	104.2	122
1970	15.2	16	18.6	24	25.2	2013	27	35.6	37.2	57.4	92
1971	23.8	30	43.8	50.6	54.6	2014	22.6	46.8	46.8	57.2	60.2
1972	40	52.8	52.8	54.4	65	2016	53.2	56.8	60.8	61.8	73
1973	21.4	33.8	51.2	83.4	84.2	2017	21.6	27.2	35.4	57.8	95.2
1990	16.8	28	40.6	64.2	103.2	2018	31	33.4	33.6	42.4	57
1991	26.2	40.4	49.4	65.2	65.2	2019	26.8	26.8	34.8	42.4	47.2
1992	22	47	48.2	56.2	73.4	2020	41	41	41	43.4	67.6
1993	16.4	19.8	23.4	32.8	40.2	2021	22.4	40.4	50.8	64.4	88.4
1994	48.4	64.4	64.4	64.6	81.2						
1995	16.8	21.8	32.4	37.8	60.2						
1996	18.6	24.2	39.8	50.2	58.2						
1997	17.8	27.6	37.4	53.6	58.6						
1998	25.8	36	41.8	54.2	74.2						
1999	28	46.4	54.4	69	79						
2000	22	30.4	37.2	43	43						
2001	13.2	15	19.8	25.6	37.4						
2002	22.4	43	48	49.8	65.8						
2003	43.2	48.4	48.4	48.4	50.8						
2004	27.8	31.6	31.6	49	68.4						
2005	22.8	24	29.8	36.2	56.8						
2006	22.4	25.6	25.6	37.4	40						
2007	19.4	33	38.8	52.2	60						

Tabella 4: Altezze di pioggia (in mm) di massima intensità e breve durata registrate al pluviografo di Servigliano

IMPRESA A.T.I.:

PROGETTISTA RTP:

MANDATARIA:

MANDANTE:

MANDATARIA:

MANDANTI:

3.2.2 Stima locale delle relazioni IDF

A seguito del confronto eseguito si è operato stimando anche localmente, nelle quattro stazioni pluviometriche considerate, un modello di distribuzione di probabilità alternativo a quello proposto nella regionalizzazione VAPI. In particolare nelle quattro stazioni si sono stimati due modelli che appartengono alla famiglia delle distribuzioni asintotiche dei valori estremi: di tipo I o di Gumbel e di tipo II o di Fréchet, caratterizzate entrambe da due parametri. L'assunzione di modelli a due parametri, che presentano una minore flessibilità (accuratezza) rispetto a modelli più complessi (tipo GEV, a tre parametri, o TCEV, a quattro parametri), è giustificato dalla limitata numerosità campionaria localmente disponibile; in tal modo si è voluto favorire la robustezza della stima nei confronti di eventi al di fuori dell'intervallo di osservazione (estrapolazione per i tempi di ritorno assunti nel progetto).

3.2.3 Legge Intensità-Durata-Frequenza

Per rappresentare le piogge di forte intensità e brevi durate si è adottata una legge intensità-durata-frequenza a tre parametri del tipo:

$$i_t(T) = \frac{a(T)}{(b+t)^m} \quad (3.5)$$

I parametri b , m e $a(T)$ sono stimati a partire dal campione di registrazione di N anni regolarizzando i casi critici registrati ai quattro pluviografi in esame e adattando un modello probabilistico alle intensità di precipitazione orarie regolarizzate. Per piogge di durata inferiore a un'ora Bell (1969) ha osservato che i rapporti r_t tra le piogge di durata t molto breve e la pioggia oraria sono relativamente poco dipendenti dalla località. Quindi l'estrapolazione della regolarizzazione verso tali durate può essere determinata imponendo il passaggio della (3.5) per le altezze di breve durata ricavate dai rapporti r_t di letteratura ($r_5 = h_5/h_{60} = 0.278$, dove h_t indica l'altezza di pioggia relativa alla durata di t minuti), oppure mediante la determinazione di tale rapporto dai dati registrati ai pluviografi con osservazioni delle piogge di massima intensità per durate inferiori a un'ora, o, ancora ottenuti in zone pluviometricamente affini tramite tecniche di regionalizzazione. In questo modo risulta fissato il parametro b della trasformazione temporale.

Per la (3.5) devono essere quindi

$$r_{5'} = \left(\frac{b+1}{b+0.083} \right)^m ; \quad (3.6)$$

che si possono porre nella forma

$$r_{5'} - \left(\frac{b+1}{b+0.083} \right)^m = 0; \quad (3.6')$$

Dalla quale si ricava che

$$r_5 = \frac{h_5}{h_{60}} = \frac{h_{0.0833}}{h_{60}} = 0.278 \qquad r_5 = \frac{i_5}{i_{60}} = \frac{h_{0.0833}}{h_{60}} \cdot \frac{1}{0.0833} = \frac{0.278}{0.0833} = 3.336$$

I parametri della (3.6) sono stati determinati imponendo che sia minima la somma dei quadrati degli scarti tra i logaritmi dei valori calcolati con la (3.6) e quelli dei valori osservati ai pluviografi in esame per tutti i casi critici registrati. Indicando con $j = 1, \dots, 5$ le durate $t = 1, 3, 6, 12, 24$ (h), la funzione da minimizzare risulta dall'adattamento del modello IDF a tutti i casi critici assieme

$$S = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^5 [\ln a_i + m \ln(b + t_j) - \ln(i_{i,j})]^2 \quad (3.7)$$

dove l'indice i si riferisce al singolo i -esimo caso critico, $i = 1, \dots, N$. Annullando la derivata della (3.6) rispetto a m , si ottiene

$$m = \frac{-\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^5 [\ln(b' + t_j) - \ln(b + t_j)] \ln(i_{i,j})}{N \sum_{j=1}^5 [\ln(b' + t_j) - \ln(b + t_j)]^2} \quad (3.8)$$

dove

$$\ln(b' + t_j) = \frac{\sum_{j=1}^5 \ln(b + t_j)}{5} \quad (3.9)$$

e b è dato dalla soluzione della (3.6'). Annullando infine le derivate della (3.7) rispetto ai a_i con i valori definitivi di m dato dalla (3.8) e b dalla (3.6') si ottiene

$$\ln a_i = \ln (t_{i,j}) + m \ln (b' + t_j) \quad (3.10)$$

da cui si ricavano i parametri a_i dei singoli casi critici.

3.2.4 Distribuzione di probabilità dell'intensità di pioggia oraria

Per determinare la legge IDF, all'intensità di pioggia oraria stimata con la procedura mostrata nel paragrafo precedente e rappresentata dai rapporto $i_{1,i} = a_i / (b + 1)^m$ per $i = 1, \dots, N$, si sono adattate due distribuzioni di probabilità:

- la distribuzione di Gumbel, o dei valori estremi di tipo I, la cui probabilità cumulata si esprime come

$$P(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\varepsilon)}} \quad (3.11)$$

dove i due parametri valgono

$$\alpha = 1.2825/\sigma \quad (3.12)$$

$$\varepsilon = \mu - 0.45006\sigma \quad (3.13)$$

in cui μ e σ sono rispettivamente la media e la deviazione standard della generica variabile casuale x (in questo caso l'intensità di pioggia oraria i_1).

- la distribuzione di Fréchet, o dei valori estremi di tipo II, la cui probabilità cumulata si esprime come

$$P(x) = e^{-\left(\frac{x}{\delta}\right)^\kappa} \quad (3.14)$$

dove i due parametri valgono

$$\kappa = 1.2825/\sigma \ln \quad (3.15)$$

$$\delta = \mu_{ln} - 0.45006\sigma_{ln} \quad (3.16)$$

in cui μ_{ln} e σ_{ln} sono rispettivamente la media e la deviazione standard del logaritmi della variabile x .

I parametri delle distribuzioni (3.11) e (3.14) sono stati stimati con il metodo dei momenti, ossia sostituendo ai momenti teorici i corrispondenti momenti campionari nelle (3.12) - (3.13) e (3.15) - (3.16).

3.2.5 Risultati della stima locale

Per il pluviografo in esame nelle tabelle 5 e 6 si riportano rispettivamente i valori dei parametri a_i , b ed m stimati con la regolarizzazione dei casi critici empirici e i valori dei parametri delle $P(i_1)$ di Gumbel e Fréchet assieme ai rispettivi valori $\alpha(T)$ e $i_1(T)$ per prefissati tempi di ritorno.

Nella figura 6 si riporta il confronto tra le P di Gumbel e Fréchet e la frequenza cumulata F , mostrato in carta probabilistica di Gumbel, dove sull'asse delle ordinate è rappresentata la variabile standardizzata $y = \alpha(i_1 - \varepsilon)$.

Servigliano			
b = 0.137		m = 0.734	
<i>i-esimo C.C.</i>	<i>a_i</i>	<i>i-esimo C.C.</i>	<i>a_i</i>
1	61.77	37	22.45
2	53.56	38	22.00
3	50.26	39	21.89
4	47.12	40	21.40
5	44.93	41	20.59
6	42.70	42	20.25
7	40.99	43	19.73
8	38.52	44	19.38
9	37.58	45	18.93
10	36.57	46	18.53
11	35.70	47	17.59
12	34.57	48	17.35
13	34.17	49	16.75
14	33.23	50	16.15
15	32.64	51	15.24
16	31.44	52	13.30
17	30.89	53	12.18
18	30.60		
19	30.13		
20	29.46		
21	28.56		
22	27.85		
23	27.35		
24	26.82		
25	26.60		
26	26.11		
27	25.78		
28	25.20		
29	25.04		
30	24.73		
31	24.54		
32	24.36		
33	23.97		
34	23.70		
35	23.33		
36	22.70		

Tabella 5: Regolarizzazione dei casi critici al pluviografo di Servigliano

Servigliano							
Gumbel				Fréchet			
$\alpha = 0.1229$		$\varepsilon = 23.5506$		$\kappa = 3.6485$		$\delta = 22.6732$	
T	P[i(1)]	a(T)	i(1)	T	P[i(1)]	a(T)	i(1)
anni				anni			
1.1	0.091	21.13	19.23	1.1	0.091	17.84	16.23
3	0.667	35.60	32.39	3	0.667	29.04	26.42
5	0.800	40.46	36.82	5	0.800	34.20	31.12
10	0.900	46.57	42.38	10	0.900	42.01	38.23
15	0.933	50.01	45.51	15	0.933	47.18	42.94
20	0.950	52.43	47.71	20	0.950	51.18	46.57
25	0.960	54.28	49.40	25	0.960	54.48	49.58
30	0.967	55.80	50.78	30	0.967	57.33	52.17
35	0.971	57.07	51.93	35	0.971	59.84	54.46
40	0.975	58.17	52.94	40	0.975	62.10	56.51
45	0.978	59.14	53.82	45	0.978	64.16	58.39
50	0.980	60.01	54.61	50	0.980	66.07	60.12
60	0.983	61.51	55.97	60	0.983	69.48	63.23
70	0.986	62.77	57.12	70	0.986	72.51	65.98
80	0.988	63.87	58.12	80	0.988	75.23	68.46
90	0.989	64.83	59.00	90	0.989	77.71	70.72
100	0.990	65.69	59.78	100	0.990	80.00	72.80
150	0.993	69.01	62.80	150	0.993	89.44	81.39
200	0.995	71.36	64.93	200	0.995	96.80	88.09
300	0.997	74.66	67.94	300	0.997	108.21	98.47
400	0.998	77.01	70.08	400	0.998	117.10	106.56
500	0.998	78.83	71.73	500	0.998	124.49	113.29
1000	0.999	84.47	76.87	1000	0.999	150.56	137.01

Tabella 6: Parametri delle distribuzioni di probabilità (Gumbel e Fréchet) e valori di $i(1)$ (mm/h) e $a(T)$ (mm) per prefissati tempi di ritorno T nella stazione pluviometrica di Servigliano

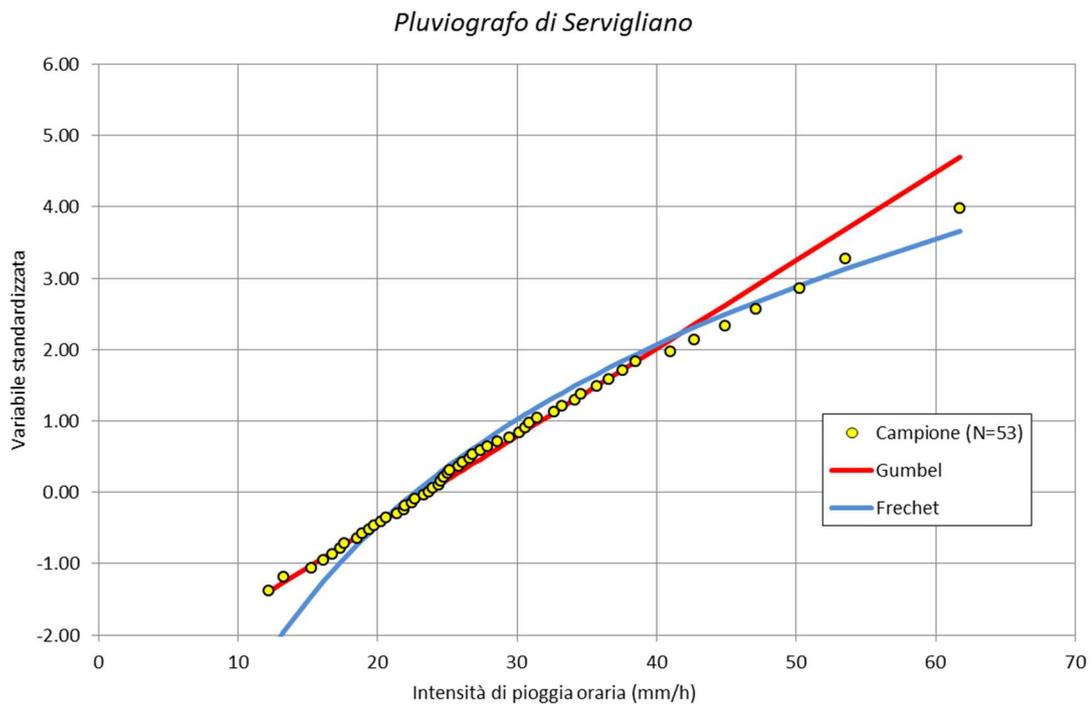


Figura 6: Distribuzioni di probabilità di Gumbel e Fréchet e frequenze empiriche dell'intensità oraria regolarizzata

Nelle figura 7 invece si mostrano gli adattamenti delle distribuzioni regionale (VAPI) e locali (Gumbel e Fréchet) ai valori registrati delle piogge intense di durata di 1, 3, 6 e 12 ore (significative per i bacini d'interesse).

Fermo restando quanto già espresso sulla distribuzione regionale VAPI, le figure mostrano come nel pluviografo in esame la distribuzione locale di Gumbel tenda a fornire stime per i valori estremi comparabili con la distribuzione VAPI, mentre la distribuzione di Fréchet si adatta meglio ai campioni empirici, anche se tende a sovrastimare le piogge sui valori estremi per alcune delle durate esaminate.

Si è quindi scelto di assumere come curve di possibilità pluviometriche di progetto quelle desunte dalla distribuzione di Fréchet (tabella 7).

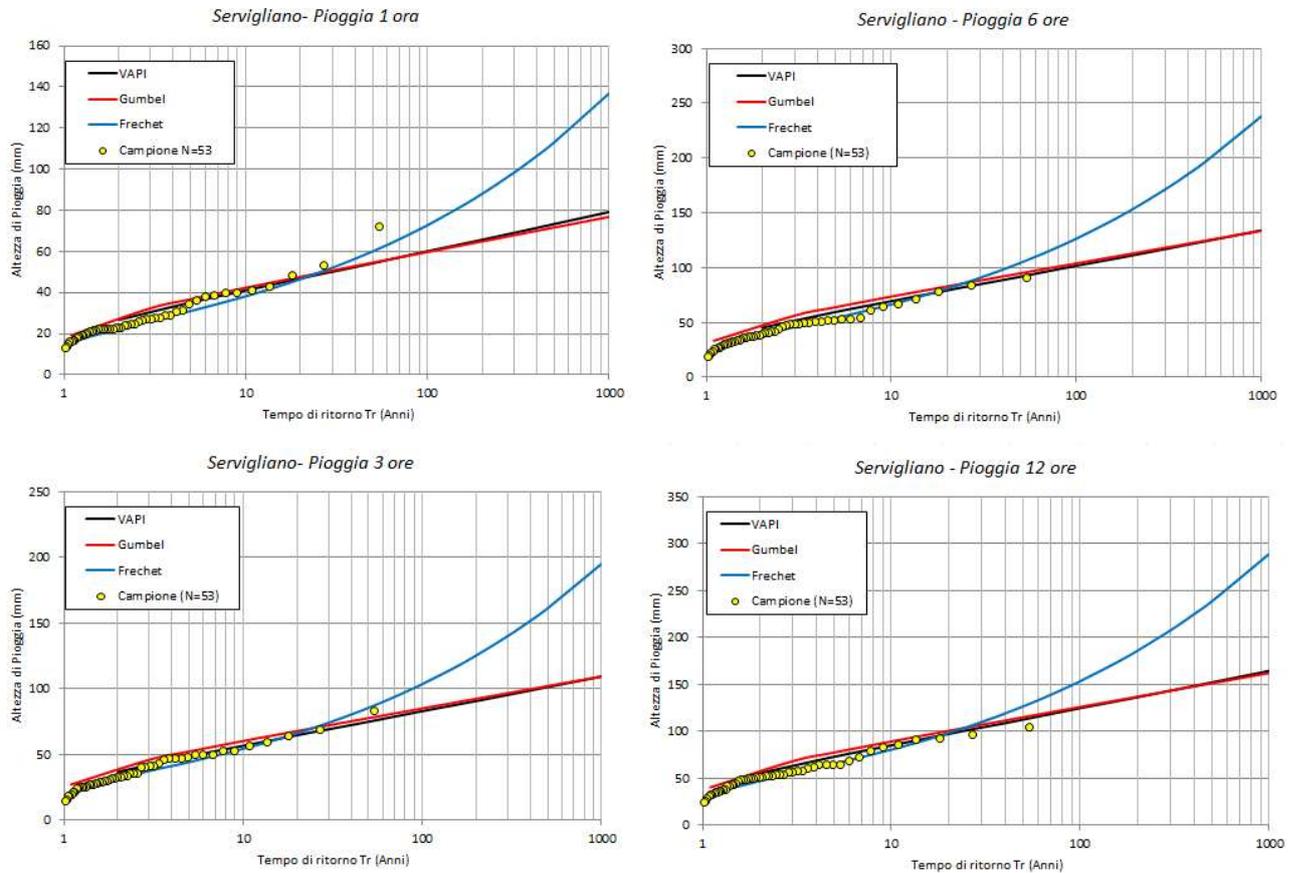


Figura 7: Adattamento delle distribuzioni regionale (VAPI) e locale (Gumbel e Fréchet) ai campioni osservati (i1, i3, i6 e i12) per le durate di 1, 3, 6 e 12 ore per la stazioni pluviometriche di Servigliano

Nella tabella 7 si riportano i parametri della curva intensità-durata-frequenza di progetto, espressa dalla relazione (3.5), per i tempi di ritorno utilizzati nelle verifiche idrauliche di progetto. I tempi di ritorno per il dimensionamento e la verifica idraulica di tutte le opere e gli elementi costituenti gli schemi idraulici di drenaggio e presidio dell'infrastruttura sono ricavati dalle prescrizioni del capitolato d'onere ANAS.

Servigliano	T	Idraulica di piattaforma	Fossi di guardia	Tombini e via- dotti di attra- versamento	
$b(\text{ore}) = 0.137$					
$m = 0.734$					
Fréchet	anni				
$a (\text{mm})$					
54.48		25	X		
66.07		50	X (trincea)	X	
80.00		100		X (trincea)	
96.80	200			X	

Tabella 7: Parametri delle curve di possibilità pluviometrica di progetto: infrastruttura viaria

4 CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA DI PROGETTO

4.1 Modello Afflussi-Deflussi

Il modello afflussi-deflussi utilizzato per la stima delle portate di progetto è il modello cinematico, in cui la portata al colmo di piena $Q(T)$ è calcolata con la formula razionale:

$$Q(T) = 278 \cdot \phi(T) \cdot A_b \cdot i(\tau_b, T) \cdot r(A_b, \tau_b) \quad (4.1)$$

in cui:

T è il tempo di ritorno medio, in anni;

$Q(T)$ è la massima portata al colmo dell'anno relativa al tempo di ritorno T , in m^3/s ;

A_b è l'area del bacino, in km^2 ;

τ_b è il tempo di concentrazione, in ore, parametro che regola la concentrazione dei deflussi;

$i(\tau_b, T)$ è l'intensità di pioggia di durata τ_b con tempo di ritorno T , in m/ora ;

ϕ è il coefficiente di deflusso relativo al tempo di ritorno T , parametro che rappresenta le perdite idrologiche;

$r(A_b, \tau_b)$ è il coefficiente di ragguaglio delle piogge all'area (posto cautelativamente pari a 1).

4.1.1 Tempo di concentrazione

Per il calcolo del tempo di concentrazione si è scelto di utilizzare la formulazione di Pezzoli, ritenendola valida per bacini compresi fra 20 km² e 1 km²

$$\tau_c = 0,055 \left(\frac{L_b}{\sqrt{P}} \right) \quad (4.2)$$

con:

L_b lunghezza dell'asta principale del bacino, in km;

P pendenza media del percorso idraulico espressa in m/m

4.1.2 Curve Number

Il SCS-CN fornisce, anche nel caso di input pluviometrici a intensità costante nel tempo, una pioggia netta variabile; l'altezza di precipitazione cumulata netta $H_p(t)$ si ricava a partire dalla corrispondente pioggia lorda $H(t)$ tramite la seguente relazione

$$H_p(t) = \frac{(H(t) - I_a)^2}{(H(t) - I_a + S)} \quad (4.3)$$

in cui S è la massima ritenzione potenziale successiva all'inizio del deflusso (mm) e I_a la capacità di assorbimento iniziale (mm). L'intensità di pioggia netta si ricava dall'altezza di pioggia cumulata derivando rispetto al tempo.

La capacità di assorbimento iniziale, I_a , rappresenta tutte le perdite precedenti all'inizio del deflusso, la trattenuta nelle depressioni superficiali, l'intercettazione della vegetazione, l'evaporazione e l'infiltrazione. I_a è fortemente variabile, ma in genere è correlata ai parametri che descrivono il suolo e la copertura. In generale si assume $I_a = 0.2S$, dove S dipende dalla combinazione di due fattori: la natura del terreno e l'uso del suolo. L'effetto combinato di questi due fattori è rappresentato dal parametro adimensionale CN attraverso la relazione

$$S = 254(100/CN - 1) \quad (4.4)$$

Il parametro **CN** varia tra 0 e 100 ed è essenzialmente legato alla natura del suolo, al tipo di copertura del terreno e alle condizioni di umidità del suolo precedenti l'evento di pioggia.

Laddove non siano disponibili osservazioni di portata per effettuate una calibrazione del modello, il parametro **CN** può essere stabilito in base a valori di letteratura che dipendono dalla classe idrologica, funzione sia del tipo di suolo (geolitologia), sia dell'uso del suolo.

Il metodo SCS classifica le tipologie di suolo in quattro gruppi idrologici (A, B, C e D) in funzione della minima capacità di infiltrazione che si ottiene per un suolo asciutto dopo imbibizione prolungata. Per i bacini in esame la natura del terreno è stata ricavata dalla carta geolitologica della Regione Marche. La classificazione in gruppi idrologici, combinata con la tipologia di uso del suolo (Corine Land Cover) consente di ottenere il valore del parametro **CN** corrispondente a ciascuna porzione omogenea in cui è suddivisa la superficie di bacino considerato. Il valore globale per l'intero bacino si ottiene dalla media dei singoli valori attribuiti a ciascuna porzione di bacino, pesati ciascuno in funzione dell'area di pertinenza.

Il valore del CN così calcolato viene infine modificato in funzione delle condizioni di umidità antecedente (Antecedent Moisture Conditions, AMC), ossia dalle piogge precedenti l'evento, ripartite in tre categorie (I, II e III) come indicato nella tabella 8.

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

Tabella 8: Classi AMC per il calcolo del CN

Per questo studio è stato adottato il valore nominale del CNII, ricavato per confronto fra la tipologia del suolo in sito e la copertura o utilizzo dello stesso. La pioggia netta calcolata con il metodo SCS è quindi trasformata in portata nella sezione di chiusura del bacino.

4.1.3 Determinazione del CN

Nella figura 8 sono rappresentate le classi geolitologiche affioranti sui bacini principali perimetrati dalla Regione Marche interferenti con l'infrastruttura in progetto. Le aree di ciascuna classe geolitologica ricadenti in ciascun bacino sono indicate nella tabella 9.

Nella tabella 10 sono riportate le classi idrologiche dei vari suoli fornite dal Soil Conservation Service, cui sono state attribuite nella tabella 11 le classi geolitologiche che compaiono nei bacini in oggetto.

I valori di CN attribuiti a ciascuna classe idrologica dipendono dall'uso del suolo. L'intersezione delle aree delle classi di uso del suolo (Corine Land Cover) con i diversi bacini sono rappresentate nella figura 9. Le aree di ciascuna classe d'uso del suolo ricadenti nei diversi bacini sono indicate nella tabella 12. Per le classi di uso del suolo presenti nei bacini d'interesse, in funzione della classe idrologica, sono stati assunti i valori di CN indicati nella tabella 13.

Classe Geolitologica		Area (km ²)									
Cod.	Descrizione	B-01	B-02	B-03	B-04	B-05	B-06	B-07	B-08	B-09	B-10
1	Detriti, depositi alluvionali e fluviolacustri, spiagge attuali	0.31	0.41	0.25	0.24	0.28	0.10	0.47	0.11	0.01	0.00
4	Detriti, alluvioni terrazzate, fluviolacustri e fluvioglaciali	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	Argille	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	Sabbie e conglomerati	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	Argille e marne talvolta con olistostromi	0.71	0.00	0.00	0.14	0.52	0.63	1.21	1.79	1.85	0.51
18	Arenarie ed argille (subordinati calcari ed evaporiti)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19	Formazione Gessoso-solfifera	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	Arenarie e conglomerati, talora torbiditici	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	Marne talora con selce, di facies pelagica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26	Unità arenacee e arenaceo-marnose	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
32	Marne e marne calcaree detritiche di facies pelagica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
35	Unità argillose e argilloso-calcaree (torbiditiche)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
38	Calcari e calcari marnosi pelagici	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
52	Calcari micritici e micriti argillose pelagiche	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
56	Calcari e talvolta dolomie dolomitici neritici e di piattaforma	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
58	Calcari, calcari marnosi e marne, selciferi, pelagici	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110	Graniti e granodioriti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
114	Filladi, porfiroidi, marmi e scisti verdi (metamorfiti di basso grado)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
115	Micascisti e paragneiss, filladi, marmi (metamorfiti di medio grado)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
117	Granuliti, gneiss con marmi e anfiboliti (metamorfiti di alto grado)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 9: Aree (km²) delle classi delle formazioni geologiche ricadenti nei sottobacini in esame

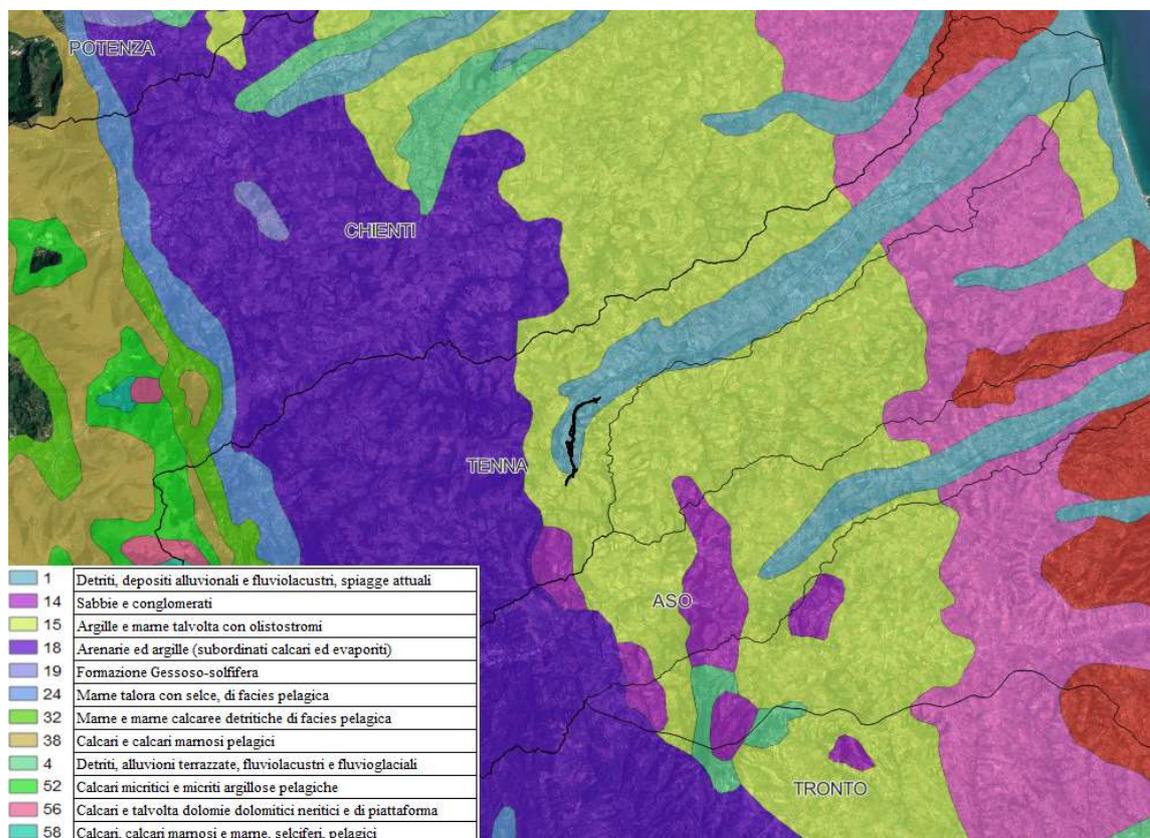


Figura 8: Classi geolitologiche affioranti nei bacini principali di interesse

Classe Idrologica	Caratteristiche dei gruppi di suolo
A	Suoli che hanno alti tassi d'infiltrazione, anche quando completamente bagnati. Principalmente costituiti da strati drenanti profondi o da sabbie o ghiaie molto drenanti. Suoli con tasso di filtrazione elevato.
B	Suoli che hanno tassi d'infiltrazione moderati quando completamente bagnati. Principalmente costituiti da strati drenanti, da moderatamente profondi a profondi. Suoli con tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana. Suoli con tasso di filtrazione moderato.
C	Suoli che hanno bassi tassi d'infiltrazione quando completamente bagnati. Principalmente costituiti da uno strato che impedisce il movimento verso il basso dell'acqua. Suoli con tessitura moderatamente fine. Suoli con basso tasso di filtrazione.
D	Suoli che hanno tassi d'infiltrazione molto bassi quando completamente bagnati. Principalmente costituiti da terreni argillosi con un alto potenziale di rigonfiamento o da terreni in cui il livello della falda si mantiene permanentemente alto. Suoli costituiti da uno strato argilloso, oppure con argille in corrispondenza o in prossimità della superficie. Suoli poco profondi con substrato quasi impermeabile. Suoli con un bassissimo tasso di filtrazione.

Tabella 10: Classi Idrologiche (Soil Conservation Service)

IMPRESA A.T.I.:

PROGETTISTA RTP:

MANDATARIA:

MANDANTE:

MANDATARIA:

MANDANTI:

Classe Geolitologica		Classe Idrologica
Codice	Descrizione	
1	Detriti, depositi alluvionali e fluviolacustri, spiagge attuali	B
4	Detriti, alluvioni terrazzate, fluviolacustri e fluvioglaciali	B
12	Argille	D
14	Sabbie e conglomerati	A
15	Argille e marne talvolta con olistostromi	D
18	Arenarie ed argille (subordinati calcari ed evaporiti)	D
19	Formazione Gessoso-solfifera	C
21	Arenarie e conglomerati, talora torbiditici	B
24	Marne talora con selce, di facies pelagica	D
26	Unita'arenacee e arenaceo-marnose	B
32	Marne e marne calcaree detritiche di facies pelagica	D
35	Unita'argillose e argilloso-calcaree (torbiditiche)	D
38	Calcari e calcari marnosi pelagici	A
52	Calcari micritici e micriti argillose pelagiche	A
56	Calcari e talvolta dolomie dolomitici neritici e di piattaforma	A
58	Calcari, calcari marnosi e marne, selciferi, pelagici	A
110	Graniti e granodioriti	C
114	Filladi, porfiroidi, marmi e scisti verdi (metamorfiti di basso grado)	D
115	Micasisti e paragneiss, filladi, marmi (metamorfiti di medio grado)	B
117	Granuliti, gneiss con marmi e anfiboliti (metamorfiti di alto grado)	A

Tabella 11: Classi idrologiche attribuite alle classi geolitologiche dei sottobacini

Uso Suolo		Area (km2)									
Codice	Descrizione	B-01	B-02	B-03	B-04	B-05	B-06	B-07	B-08	B-09	B-10
111	Tessuto Urbano continuo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
112	Tessuto Urbano discontinuo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00
121	Aree industriali o commerciali	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
122	Reti stradali e ferroviarie e spazi accessori	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
123	Aree estrattive	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
131	Aree sportive e ricreative	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09
142	Seminativi in aree non irrigue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
211	Vigneti	0.00	0.05	0.15	0.20	0.20	0.44	1.05	0.73	1.09	0.39
221	Frutteti e frutti minori	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
222	Oliveti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
223	Pascoli	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
231	Colture annuali associate a colture permanenti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
241	Sistemi colturali e particellari complessi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
242	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali	0.78	0.23	0.00	0.09	0.60	0.29	0.17	0.63	0.20	0.03
243	Boschi di latifoglie	0.24	0.06	0.00	0.07	0.01	0.00	0.46	0.05	0.08	0.00
311	Boschi di conifere	0.00	0.08	0.10	0.02	0.00	0.00	0.00	0.48	0.21	0.00
312	Boschi misti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
313	Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
321	Aree a vegetazione sclerofilla	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
323	Area a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
324	Spiagge, dune, sabbie (più larghe di 100m)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.00
331	Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
333	Aree con vegetazione rada	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
512	Corpi d'acqua	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
523	Mari ed oceani	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 12: Aree (km2) delle classi di uso del suolo ricadenti nei bacini principali in esame

Uso suolo		CN			
Codice	Descrizione	A	B	C	D
111	Tessuto Urbano continuo	77	85	90	92
112	Tessuto Urbano discontinuo	57	72	81	86
122	Reti stradali e ferroviarie e spazi accessori	98	98	98	98
131	Aree estrattive	46	69	79	84
142	Aree sportive e ricreative	39	61	74	80
211	Seminativi in aree non irrigue	70	80	86	90
221	Vigneti	45	66	77	83
222	Frutteti e frutti minori	45	66	77	83
223	Oliveti	45	66	77	83
231	Pascoli	30	58	71	78
241	Colture annuali associate a colture permanenti	58	73	82	87
242	Sistemi colturali e particellari complessi	58	73	82	87
243	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali	52	70	80	85
311	Boschi di latifoglie	36	60	73	79
312	Boschi di conifere	36	60	73	79
313	Boschi misti	36	60	73	79
321	Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota	49	69	79	84
323	Aree a vegetazione sclerofilla	49	69	79	84
324	Area a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	36	60	73	79
331	Spiagge, dune, sabbie (più larghe di 100m)	76	85	89	91
333	Aree con vegetazione rada	49	69	79	84
523	Mari ed oceani	100	100	100	100

Tabella 13: Valori del CN per gruppi idrologici e di uso del suolo

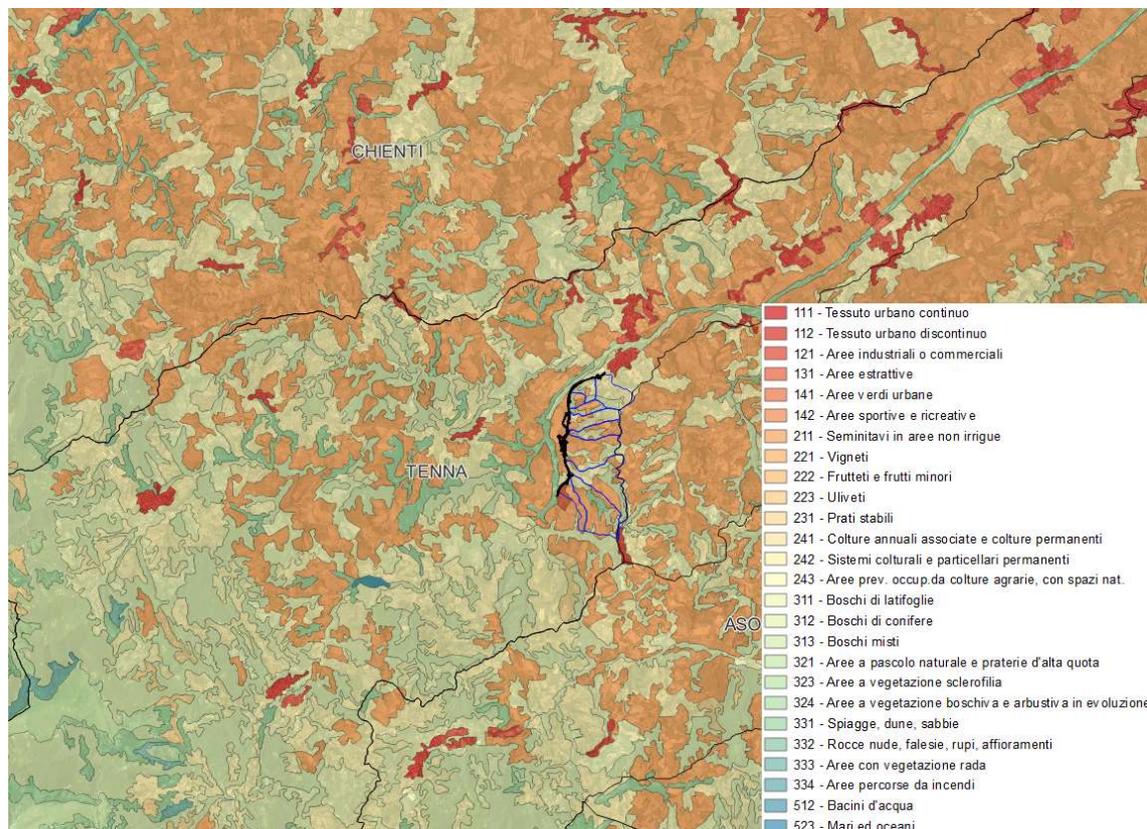


Figura 9: Classi di uso del suolo nei bacini principali

I valori medi dei CNII adottati nei bacini principali in esame sono indicati nella tabella 14.

Sottobacino	CNII Nominale
B-01	72
B-02	71
B-03	72
B-04	75
B-05	75
B-06	77
B-07	77
B-08	72
B-09	74
B-10	78

Tabella 14: CNII nominale per i diversi sottobacini di studio

4.1.4 Coefficienti di deflusso

In base ai valori dei CNII calcolati per i sottobacini, indicati in tabella 4.8, sono stati assunti dei coefficienti di deflusso ϕ sulla base delle caratteristiche di permeabilità dei suoli presenti, riportati in tabella 15.

Sottobacino	Coefficiente di deflusso ϕ
B-01	0.65
B-02	0.65
B-03	0.65
B-04	0.65
B-05	0.65
B-06	0.65
B-07	0.65
B-08	0.65
B-09	0.65
B-10	0.65

Tabella 15: Coefficienti di deflusso adottati per i bacini principali di studio

4.1.5 Intensità di pioggia e portate di progetto

Il calcolo dell'intensità di pioggia di progetto è stato realizzato con la curva intensità-durata-frequenza espressa dalla formula (3.5), i cui parametri sono riportati nella tabella 7.

Nella tabella 16 si riportano le caratteristiche sottobacini interferenti alle relative sezioni di chiusura e di cui se ne mostra la conformazione in figura 10.

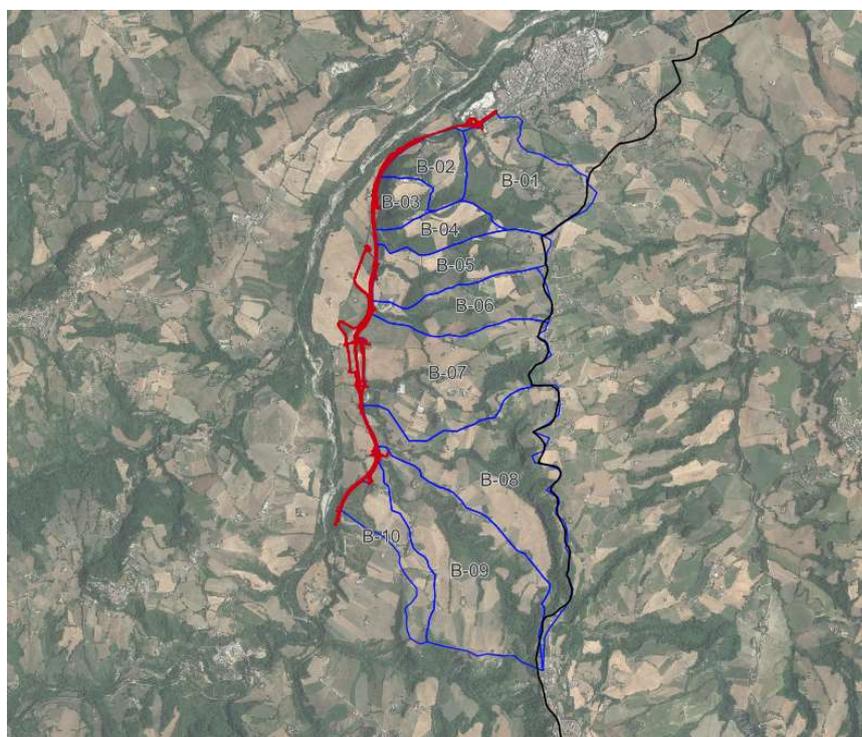


Figura 10: Bacini maggiori interferenti con l'infrastruttura in progetto

ID	Area <i>km²</i>	L asta <i>km</i>	Hmax <i>m</i>	Hmin <i>m</i>	Pend media <i>m/m</i>	τ_c <i>h</i>	CN	ϕ	<i>i</i> ₂₀₀ <i>mm/h</i>	<i>Q_c</i> <i>m³/s</i>
B-01	1.02	1.30	310.00	220.00	0.07	0.27	72	0.65	186.69	34.42
B-02	0.41	0.76	290.00	230.00	0.08	0.15	71	0.65	242.78	18.13
B-03	0.25	0.55	315.00	219.00	0.17	0.07	72	0.65	305.02	13.98
B-04	0.39	1.01	333.00	226.00	0.11	0.17	75	0.65	229.97	16.09
B-05	0.80	1.40	320.00	230.00	0.06	0.30	75	0.65	176.65	25.64
B-06	0.73	1.78	371.00	237.00	0.08	0.36	77	0.65	162.49	21.40
B-07	1.68	1.95	355.00	240.00	0.06	0.44	77	0.65	144.64	43.80
B-08	1.90	3.30	450.00	245.00	0.06	0.73	72	0.65	107.65	36.88
B-09	1.86	2.75	480.00	250.00	0.08	0.52	74	0.65	131.33	44.12
B-10	0.51	1.50	400.00	255.00	0.10	0.27	78	0.65	188.86	17.48

Tabella 16: Caratteristiche idrologiche dei sottobacini interferenti alla sezione di chiusura

5 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DEGLI ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI

L'infrastruttura in progetto non attraversa nessun corso d'acqua principale e, i differenti elementi idraulici interferiti quali fossi e valloni, sono caratterizzati da valori di portata al colmo inferiore ai 50 mc/s.

Sulla base di queste prime indicazioni si è definito l'utilizzo di manufatti scatolari di dimensione minima 2 x 2 metri, ai fini della risoluzione delle interferenze con gli elementi del reticolo idraulico

5.1 Riferimenti normativi

In Italia i riferimenti normativi ai quali si deve attenere il progettista degli attraversamenti fluviali sono contenuti nel Decreto Ministeriale del 2 agosto 1980 e in quello del 4 maggio 1990, ai quali ha fatto seguito la Circolare n. 34233 emanata in data 25 febbraio 1991 dal Ministero dei Lavori Pubblici, recante "Istruzioni relative alla normativa tecnica dei ponti stradali".

Recentemente il DM 17/01/18 più noto come "Norme Tecniche per le Costruzioni" e successivamente la Circolare esplicativa n. 7 del 21-01-2018 ha integrato in alcune parti, riguardanti prevalentemente le azioni da prevedere per i calcoli statici, le norme dei precedenti decreti.

Le norme prescrivono di assumere normalmente quale portata di progetto quella corrispondente a un tempo di ritorno non inferiore a duecento anni per la quale i calcoli idraulici dovranno verificare la sussistenza di un franco minimo tra il livello di massima piena e l'impalcato del ponte (di 1,5 m).

Per quanto riguarda l'inserimento dell'opera di attraversamento nell'ambito delle aree di pertinenza del corso d'acqua le norme prevedono che il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati il corso d'acqua attivo e, se arginato, i corpi arginali. Qualora eccezionalmente fosse necessario realizzare pile in alveo, la luce minima tra pile contigue, misurata ortogonalmente al filone principale della corrente, non dovrà essere inferiore a 40 metri. Soluzioni con luci inferiori potranno essere autorizzate dall'Autorità competente, previo parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Nel caso di pile e/o spalle in alveo cura particolare è da dedicare al problema delle escavazioni dell'alveo e alla protezione delle fondazioni delle pile e delle spalle.

Il franco idraulico necessario non può essere ottenuto con il sollevamento del ponte durante la piena.

I criteri di progetto seguiti nel dimensionamento delle opere di attraversamento e presidio in corrispondenza dei corsi d'acqua marginali realizzati con tombini consistono essenzialmente in:

- garantire il deflusso della piena di progetto;
- assicurare con un periodo di ritorno di 200 anni la sicurezza dell'infrastruttura stradale garantendo un basso grado di riempimento all'imbocco dei tombini.
- La risoluzione delle interferenze idrografiche marginali (attraversamenti idraulici della viabilità in progetto) avviene con la realizzazione di tombini idraulici, in cemento armato di sezione scatolare, di sezione minima 2×2 m, per garantire una buona efficienza idraulica ed una migliore manutenibilità delle opere.

Sono previsti raccordi tra incisione naturale e manufatto, realizzati in pietrame.

Il funzionamento idraulico dei manufatti di attraversamento a sezione chiusa dipende da numerosi fattori quali la pendenza dell'opera, la sezione, la forma, la scabrezza e i livelli idrici che si instaurano a monte e a valle dell'opera stessa.

Il comportamento idraulico dei tombini è piuttosto complesso perché può ricadere sia nel campo dell'idraulica a pelo libero, sia in quello delle condotte in pressione, in funzione della portata transitante.

Le verifiche idrauliche compiute sono finalizzate a determinare che il deflusso relativo all'evento con tempo di ritorno di 200 anni sia compatibile con il funzionamento delle opere di attraversamento senza interessare l'infrastruttura stradale, con un elevato franco idraulico.

Il calcolo numerico è stato realizzato con l'ausilio del codice HY8, sviluppato dalla Federal Highway Administration (FHWA) del U.S. Department of Transportation. Il codice permette di determinare sia la dimensione, la forma e il numero di opere d'arte necessari a far defluire una portata di progetto o di calcolare il livello idrico raggiunto a monte del manufatto per far defluire una determinata portata (in condizioni di normale deflusso o in condizioni di acqua ferma all'imbocco), sia il profilo idrico della portata transitante nell'opera. Il codice stabilisce, inoltre, il tipo di funzionamento del tombino, che può essere controllato da monte (inlet control) o da valle (outlet control). Nel primo caso la quantità d'acqua che può transitare nell'opera è limitata dall'ingresso del tombino stesso: la corrente passa attraverso l'altezza critica all'imbocco dell'attraversamento e il deflusso

all'interno dell'opera è in regime di corrente veloce, conseguentemente le perdite di carico a valle non influiscono sul livello di monte e il livello che si instaura a monte è una funzione delle dimensioni dell'imbocco, della sua forma e del tipo di tombino (sezione e materiale).

Nel secondo caso la quantità d'acqua che può transitare nel manufatto è limitata dalla sezione del tombino e/o dalle condizioni al contorno di valle, conseguentemente il deflusso avviene in corrente lenta e l'equazione dell'energia determina il livello idrico a monte.

I possibili tipi di deflusso che si possono instaurare a monte, a valle e nel tombino sono mostrati nella figura 11 (per approfondimenti si rimanda al manuale tecnico di HY8).

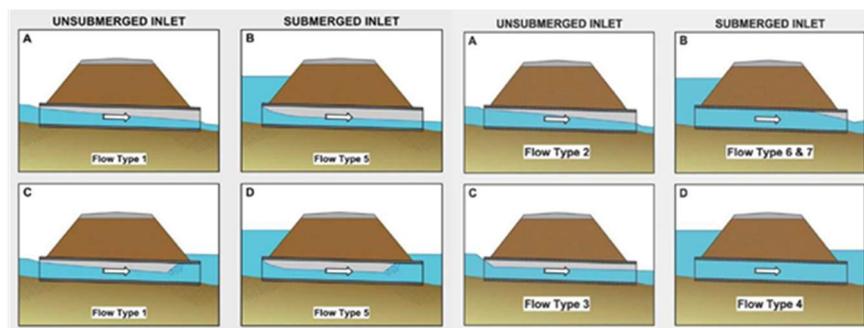


Figura 11: Bacini maggiori interferenti con l'infrastruttura in progetto

5.2 Verifica Idraulica dei tombini

Per il dimensionamento dei tombini idraulici con le portate di progetto si è proceduto a verificare che, in caso di ostruzione da parte di detriti o corpi galleggianti, metà della sezione utile ipotizzata consentisse comunque di esitare la portata di calcolo stimata con tempo di ritorno 200 anni. Agli imbocchi si prevede la realizzazione di muri d'ala per l'invito dei deflussi (imbocco sagomato). Si è adottata inoltre, fine di evitare eventuali fenomeni di sifonamento ed erosione, la sistemazione di brevi tratti a monte e a valle con gabbioni e materassi reno riempiti con pietrame locale.

In tabella 17 sono riportate, in funzione della dimensione del tombino scatolare (larghezza × altezza in *m*) e della sua pendenza, le massime portate transitanti in corrispondenza del grado di riempimento all'imbocco pari al 50% ($Q_{50\%}$). Le simulazioni numeriche sono state realizzate con il software HY8.

La lunghezza media dei tombini scatolari adottata per il calcolo delle portate $Q_{50\%}$ di tabella 17 è pari a 20 m. Il coefficiente di scabrezza di Manning assegnato ai tombini in cemento è stato assunto cautelativamente pari a 0.023.

Le pendenze adottate per i tombini in progetto e le inalveazioni in uscita sono sempre uguali o minori della pendenza del terreno (recapito naturale) a valle dei tombini stessi.

Quando la pendenza del tombino e dell'inalveazione a valle è bassa (0.5% - 1%) ed il funzionamento in corrente lenta del tombino è controllato da valle (outlet control), per il calcolo della $Q_{50\%}$ si è assunto in uscita dallo scatolare un canale rettangolare di base pari alla larghezza del tombino stesso, con coefficiente di scabrezza di Manning posto cautelativamente pari a 0.04. In tal modo quindi la quota idrica imposta a valle del tombino risulta sempre cautelativamente superiore a quella che si instaurerebbe naturalmente nell'inalveazione.

TIPOLOGICO Scatolare		Pendenza tombino								
		0.5%	1.0%	1.5%	2.0%	2.5%	3.0%	3.5%	4.0%	5.0%
Altezza	Larghezza									
m	m									
3	2	5.24	7.41	9.08	10.49	11.72	12.84	13.87	14.83	16.58
3	3	9.84	13.92	17.05	19.68	22.01	24.11	26.04	27.84	31.12
3	4	15.23	21.53	26.37	30.45	34.05	37.30	40.29	43.07	48.15
3	5	21.21	30.00	36.74	42.42	47.43	51.96	56.12	60.00	67.08
3	6	27.67	39.13	47.92	55.34	61.87	67.78	73.21	78.26	87.50

Tabella 17: Calcolo della portata $Q_{50\%}$ (m^3/s) per tipologico e pendenza del tombino

In tabella 18, per ogni bacino idrografico secondario con recapito finale in un tombino, si riportano la portata di progetto duecentennale, la pendenza del tombino (assunta pari o minore alla pendenza del recapito naturale a valle), la sua progressiva chilometrica ed il tipologico dello scatolare scelto tra quelli della tabella 17, secondo il criterio che la portata $Q_{50\%}$ del tipologico risulti maggiore o uguale alla portata di progetto duecentennale del bacino sotteso corrispondente.

Asta	Bacino	Q ₂₀₀ m ³ /s	Tombini	Pk	Pendenza m/m	Dimensioni m x m
Fosso tenna 338	B-03	13.98	TM01	1+800	0.020	3x3
Fosso tenna 337	B-04	16.09	TM02	2+070	0.020	3x3
Fosso tenna 336	B-05	25.64	TM03	2+280	0.020	4x3
Fosso tenna 336	B-05	25.64	TM04	2+180	0.020	4x3
Fosso Parapina	B-06	21.40	TM05	2+710	0.020	4x3
Fosso Parapina	B-06	21.39	TM06	2+670	0.020	4x3
Fosso Valentella	B-07	43.80	TM07	3+600	0.025	5x3
Fosso Valentella	B-07	43.80	TM08	3+580	0.025	5x3
Fosso S. Gualtiero	B-08	36.88	TM09	3+900	0.025	5x3
Fosso Valle Cupa	B-09	44.12	TM10	4+380	0.015	6x3
Fosso Valle Cupa	B-09	44.12	TM11	4+393	0.015	6x3
Fosso Squarcia	B-10	17.48	TM12	4+600	0.025	4x3
Fosso Squarcia	B-10	17.47	TM13	4+620	0.025	4x3

Tabella 18: Scelta del tombino scatolare di recapito dei bacini secondari