



COMUNE DI CAPACCIO PAESTUM

Provincia di Salerno
AREA LL.PP.



VIABILITA' ALTERNATIVA AL PASSAGGIO A LIVELLO DELLA STAZIONE FERROVIARIA DI PAESTUM

Sindaco
Avv. Alfieri Francesco

PROGETTO DEFINITIVO

Progetto approvato con:
☐ Delibera di Consiglio Comunale
☐ Delibera di Giunta Comunale
☐ Determinazione Dirigenziale

n. _____ del __/__/2022

Rup

Ing. Federica Turi

Supporto al progetto idraulico

Ing. Sergio Ferrara

Progettista

Ing. Giovanni Vito Bello

Elaborato

TAV. IDR_5.0

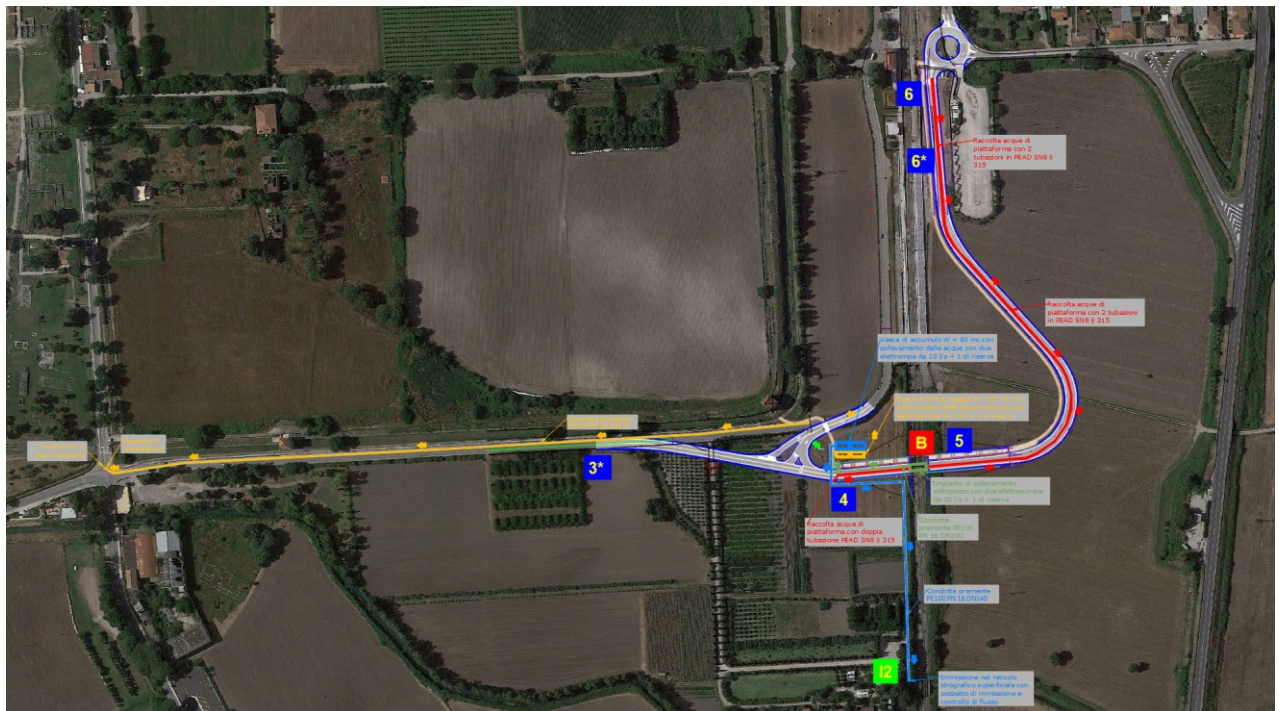
Oggetto dell'elaborato

Relazione di compatibilità idraulica

Scala

PROGETTO VIABILITÀ ALTERNATIVA AL SOTTOPASSO A LIVELLO DELLA STAZIONE FERROVIARIA DI PAESTUM

Relazione di compatibilità idraulica




Ing. Sergio Ferrara



Giugno 2023

Indice

1. PREMESSA	1
2. IL BACINO DEL FIUME CAPODIFIUME	2
2.1 Attività svolte	2
3. DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA DELL'ALVEO	4
3.1 Generalità	4
3.1.1 Criteri generali per l'identificazione e la localizzazione delle sezioni trasversali.	4
3.1.2 Risultanze della campagna di rilievi cartografici e topografici....	5
4. VALUTAZIONE DELLE MASSIME PORTATE DI PIENA NATURALI-METODO VAPI	7
4.1 Generalità	7
4.2 Valutazione del fattore regionale di crescita	8
4.3 Valutazione della piena media annua $m(Q)$	9
4.3.1 Criteri di stima	9
4.3.2 Il modello geomorfoclimatico	10
4.3.2.1 <i>Ipotesi di base</i>	10
4.3.2.2 <i>Caratteristiche morfometriche ed altimetriche dei bacini idrografici</i>	12
4.3.2.3 <i>La legge di probabilità pluviometrica areale</i>	13
4.3.2.4 <i>I parametri del modello geomorfoclimatico</i>	15
4.3.2.5 <i>La piena media annua</i>	17
4.4 Risultati.....	18
5. STUDIO IDRAULICO DELLO STATO DI FATTO	23
5.1 Schema idraulico di riferimento	23

Indice

5.2	Modelli di calcolo utilizzati	23
5.2.1	Generalità	23
5.2.2	Studio idraulico in moto vario monodimensionale	24
5.2.2.1	<i>Valori del coefficiente di scabrezza</i>	<i>25</i>
5.2.2.2	<i>Condizioni al contorno</i>	<i>27</i>
5.2.3	Studio idraulico in moto vario bidimensionale.....	27
5.2.3.1	<i>Dati topografici di base</i>	<i>28</i>
5.2.3.2	<i>Coefficienti di scabrezza.....</i>	<i>29</i>
5.2.3.3	<i>Dati idrologici di input</i>	<i>29</i>
5.2.3.4	<i>Delimitazione delle aree inondabili</i>	<i>30</i>
5.3	Risultati dello studio idraulico.....	30
5.4	Conclusioni studio idraulico.....	31
6.	DESCRIZIONE DELLE OPERE PREVISTE IN PROGETTO.....	32
7.	STUDIO IDRAULICO NELLA CONDIZIONE DI PROGETTO	33
8.	CONCLUSIONI.....	34

1. PREMESSA

La presente relazione di compatibilità idraulica, redatta ai sensi delle vigenti norme di attuazione del PAI ex Autorità di bacino Campania Sud ed interregionale del fiume Sele, prende spunto dallo studio idraulico redatto dall'ex Autorità di Bacino Sinistra Sele e posto alla base delle *Attività di studio ed approfondimento nei bacini dei fiumi Alento, Bussento, Capodifiume Fiumicello* che hanno portato alla redazione del PAI per i corsi d'acqua indicati.

Nel prosieguo, pertanto, saranno descritti i risultati dello stato di fatto del corso d'acqua ed i risultati ottenuti in termini di pericolosità e rischio idraulico. A seguire, dopo aver esposto gli interventi progettuali, si è effettuata una valutazione della compatibilità di questi con il regime delle acque del corso d'acqua.

Di seguito il dettaglio di quanto riportato.

2. IL BACINO DEL FIUME CAPODIFIUME

Il fiume Capodifiume nasce alle pendici del Monte Soprano dalle Sorgenti di Capodifiume che si caratterizzano per il regime permanente delle portate sorgive. Il corso del fiume si svolge per l'intera lunghezza nella Piana di Paestum costeggiando per il primo tratto, fino al complesso archeologico di Paestum, aree prevalentemente agricole e nel tratto successivo aree più densamente urbanizzate (località Licinella di Paestum).

Considerata la peculiarità del corso d'acqua e l'ambito morfologico in cui scorre, nel passato il fiume Capodifiume veniva utilizzato anche come canale di Bonifica. Nel recente passato, tale funzione è stata abbandonata in quanto il Consorzio di Bonifica Destra Sele ha riversato in altri canali limitrofi le acque drenate dalla piana circostante.

Nell'ambito fisico ed amministrativo sopra descritto, il bacino del fiume Capodifiume, con i suoi 9 km² circa, e viste le caratteristiche di grande rilevanza socio-economica e culturale delle aree limitrofe al corso d'acqua nel tratto centrale e di foce, rappresenta sicuramente una delle priorità dal punto di vista del rischio idraulico.

2.1 Attività svolte

Nei paragrafi che seguono sono descritte in dettaglio le attività sviluppate per il PAI vigente, ed in particolare:

1. la definizione della geometria d'alveo e delle aree ad esso limitrofe;
2. lo studio idrologico effettuato;
3. lo studio idraulico sviluppato per le aree di interesse;
4. la delimitazione delle aree inondabili
5. la definizione della pericolosità idraulica e quindi delle fasce di pertinenza fluviale.

Nel capitolo finale sono commentati i risultati dello studio idraulico.

Nelle Appendici 2 e 3 sono descritti sinteticamente rispettivamente il modello di moto permanente e moto vario monodimensionale e quello di moto vario bidimensionale utilizzati.

3. DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA DELL'ALVEO

3.1 Generalità

Come detto in premessa, l'area oggetto di studio è costituita dalla piana alluvionale del fiume Capodifiume per l'intera estensione dalle sorgenti alla foce.

Relativamente a tale ambito territoriale, nell'ambito del PAI è stata effettuata una campagna di rilievi cartografici e topografici mirata alla definizione della geometria dell'alveo e delle aree ad esso limitrofe. Di seguito si forniscono i criteri adottati per la realizzazione di tale campagna e se ne descrivono sinteticamente i risultati, rimandando per il dettaglio agli elaborati specifici.

3.1.1 Criteri generali per l'identificazione e la localizzazione delle sezioni trasversali.

Il numero e la localizzazione delle sezioni trasversali in un corso d'acqua per la modellazione del moto della corrente dipende dallo scopo dello studio e dalle caratteristiche dello stesso corso d'acqua.

Occorrono, ad esempio, un numero maggiore di sezioni per unità di lunghezza, per descrivere, con un medesimo grado di accuratezza, i profili idrici in piccoli corsi d'acqua o corsi d'acqua con elevate pendenze che in quelli che presentano una minore variabilità nelle caratteristiche geometriche.

D'altro canto il numero di sezioni non può essere troppo elevato perché ad esso sono proporzionali gli oneri di calcolo del modello oltre, naturalmente, i costi di rilievo topografico quando le stesse sono rilevate direttamente in situ.

Un criterio, proposto nella letteratura tecnico-scientifica, suggerisce un limite superiore alla distanza tra due sezioni consecutive in relazione alla pendenza di fondo. La lunghezza del tratto tra due sezioni consecutive non dovrebbe, ad esempio, essere superiore a 1 km per corsi d'acqua molto regolari con pendenze inferiori al 3/1000; non superiore a 500 m per corsi d'acqua con pendenze dell'ordine del 4-5/1000; 200÷300 m per pendenze maggiori.

Nella localizzazione delle sezioni è, inoltre, opportuno anche tener conto della tecnica di risoluzione delle equazioni che governano il moto della corrente.

Infatti due sezioni adiacenti definiscono sia un tratto nel fiume sia un passo nella procedura computazionale di integrazione delle equazioni. Quando, ad esempio, si procede all'integrazione per differenze finite da valle verso monte, come per le correnti subcritiche, le condizioni idrometriche nella sezione a monte del tratto sono calcolate a partire da quelle note nella sezione di valle.

Tale procedura, richiede quindi, per ottenere un'accurata valutazione dei caratteri idrometrici della corrente, che le variazioni delle grandezze siano limitate.

Per determinare il numero e individuare la posizione delle sezioni trasversali da rilevare, si è fatto riferimento ai seguenti criteri:

- che siano perpendicolari al corso d'acqua;
- che siano posizionate in corrispondenza di punti dove si verificano significative variazioni della morfologia della valle, della scabrezza o della pendenza;
- che ve ne siano almeno una all'inizio e una alla fine nei tratti arginati o con sistemazioni;
- che ve ne siano almeno tre in corrispondenza di ponti e strutture idrauliche: una immediatamente a monte, una immediatamente a valle ed un'intermedia descrivente la struttura;
- che ve ne sia almeno una in tutte quelle sezioni che possano risultare idraulicamente di controllo;
- che ve ne siano immediatamente a monte e a valle di confluenze dove risultano variazioni di portata.

3.1.2 Risultanze della campagna di rilievi cartografici e topografici.

Lungo il tratto oggetto di studio è stata realizzata una cartografia alla scala 1:2000 (ottenuta da un volo effettuato ad 8.000 m s.l.m.m. di quota) ed è stata

effettuata una campagna di rilievi topografici a terra finalizzata a rilevare tutte le sezioni idraulicamente significative.

La campagna di rilievi è stata organizzata in maniera tale da ottenere il minimo scarto possibile tra informazioni reperite a terra durante le battute topografiche e informazioni derivanti dalla restituzione cartografica. Questa ha comportato continui confronti e scambi di dati tra gli operatori di settore.

In particolare, nell'ambito della realizzazione della cartografia si è provveduto ad un infittimento della rete di caposaldi IGM presenti in zona. A tali caposaldi sono stati appoggiati i rilievi delle sezioni a terra, effettuate con tecnologia GPS. Gli stessi rilievi sono stati successivamente utilizzati nella restituzione cartografica per ottenere una maggiore precisione della stessa.

Il dettaglio sulla geometria delle aree di interesse così ottenuto, ha consentito una migliore utilizzazione degli strumenti di calcolo di ingegneria idraulica ed una conseguente maggiore precisione nella definizione delle aree inondabili e delle fasce fluviali, compatibilmente con la scala di riferimento.

Sul fiume Capodifiume sono state rilevate 65 sezioni topografiche di cui 12 sono rappresentate da attraversamenti e opere idrauliche trasversali al corso d'acqua.

Da verifiche effettuate sui luoghi, lo stato attuale del corso d'acqua, vista la conformazione del corso d'acqua (a regime sorgentizio perenne) non risulta modificata rispetto a quanto riportato nel PAI.

4. VALUTAZIONE DELLE MASSIME PORTATE DI PIENA NATURALI-METODO VAPI

4.1 Generalità

L'analisi idrologica dei valori estremi delle precipitazioni e delle piene in Campania è stata effettuata nel Rapporto VAPI Campania attraverso una metodologia di analisi regionale di tipo gerarchico, basata sull'uso della distribuzione di probabilità del valore estremo a doppia componente (TCEV - Two Component Extreme Value). Tale procedura si basa sulla considerazione che esistono zone geografiche via via più ampie che possono considerarsi omogenee nei confronti dei parametri statistici della distribuzione, man mano che il loro ordine aumenta.

Indicando con Q il massimo annuale della portata al colmo e con T il periodo di ritorno, cioè l'intervallo di tempo durante il quale si accetta che l'evento di piena possa verificarsi mediamente una volta, la massima portata di piena Q_T corrispondente al prefissato periodo di ritorno T , può essere valutata come:

$$Q_T = K_T \cdot m(Q) \quad (1)$$

dove:

- $m(Q)$ = media della distribuzione dei massimi annuali della portata di piena (piena indice).
- K_T = fattore probabilistico di crescita, pari al rapporto tra Q_T e la piena indice.

Per quanto attiene alla valutazione del fattore regionale di crescita, il rapporto VAPI propone la formulazione riportata al paragrafo 4.3.2 che segue. Per la valutazione di $m(Q)$, vengono invece indicate quattro differenti metodologie, due di tipo diretto, basate su formule monomie in cui la portata dipende essenzialmente dall'area del bacino, e due di tipo indiretto (la formula razionale e il modello geomorfoclimatico) in cui la piena indice viene valutata a partire dalle piogge e dipende in maniera più articolata dalle caratteristiche geomorfologiche del bacino (area, percentuale impermeabile, copertura boschiva).

Di seguito, al paragrafo 4.3.2 è stato descritto in dettaglio il modello geomorfoclimatico.

4.2 Valutazione del fattore regionale di crescita

Nell'ambito del Progetto VAPI del G.N.D.C.I./C.N.R. il territorio nazionale è stato suddiviso in aree idrologicamente omogenee, caratterizzate pertanto da un'unica distribuzione di probabilità delle piene annuali rapportate al valore medio (legge regionale di crescita con il periodo di ritorno $K_T(T)$).

L'indagine regionale volta alla determinazione di tale legge è stata svolta per la regione Campania nel Rapporto VAPI Campania sopra menzionato. I risultati sono stati ottenuti sotto forma di una relazione tra K_T e T esplicitata come:

$$T = \frac{1}{1 - \exp(-13,11 \cdot 0,0202^{K_T} - 0,923 \cdot 0,230^{K_T})} \quad (2)$$

Questa relazione può essere valutata in prima approssimazione attraverso la seguente:

$$K_T = -0,0545 + 0,680 \cdot \ln T \quad (3)$$

con un errore inferiore al 5% per $T \geq 10$ anni.

Nella tabella A che segue sono riportati, per diversi periodi di ritorno, i valori di K_T ottenuti dall'equazione (3).

T (anni)	K_T
2	0.87
5	1.29
10	1.63
20	2.03
30	2.26
50	2.61
100	3.07
300	3.83
500	4.17

T (anni)	K_T
1000	4.64

Tabella A– Legge regionale di crescita delle portate per la regione Campania

4.3 Valutazione della piena media annua $m(Q)$

4.3.1 Criteri di stima

La piena media annua $m(Q)$ è caratterizzata da una elevata variabilità spaziale che può essere spiegata, almeno in parte, ricorrendo a fattori climatici e geomorfologici.

E' dunque in genere necessario ricostruire modelli che consentano di mettere in relazione $m(Q)$ con i valori assunti da grandezze caratteristiche del bacino.

Quando manchino dati di portata direttamente misurati nelle sezioni di interesse, l'identificazione di tali modelli può essere ottenuta sostanzialmente attraverso due diverse metodologie:

- approcci di tipo puramente empirico, del tipo $m(Q) = a \cdot A^b$ (con A = superficie del bacino);
- approcci che si basano su modelli in cui la piena media annua viene valutata con parametri che tengano conto delle precipitazioni massime sul bacino e delle caratteristiche geomorfologiche (modelli geomorfoclimatici).

Il Rapporto VAPI Campania ha provveduto alla stima dei parametri sia per modelli empirici di vario tipo che per il modello geomorfoclimatico.

Tali parametri sono stati stimati utilizzando i dati di 12 delle 22 stazioni idrometriche presenti in Campania, corrispondenti a bacini di estensione variabile tra 95 Km² (Tusciano ed Olevano) e 5542 Km² (Volturno e Ponte Annibale).

In quanto segue, mancando dati di misura di portata nelle sezioni di interesse, il calcolo della portata media annua al colmo di piena è stato effettuato in via indiretta, in accordo con la metodologia proposta dal VAPI, a partire dalle precipitazioni intense e in particolare con il “modello geomorfoclimatico”,

stimando $m(Q)$ come una frazione della massima intensità di pioggia che può verificarsi sul bacino dipendente dalle caratteristiche geomorfologiche dello stesso.

4.3.2 Il modello geomorfoclimatico

4.3.2.1 Ipotesi di base

Ad eventi di pioggia brevi ed intensi corrispondono, di solito, deflussi di piena nella sezione terminale del bacino dovuti essenzialmente allo scorrimento delle acque sui versanti e nei canali della rete idrografica.

Il bilancio idrologico di un bacino durante i fenomeni di piena può pertanto essere schematizzato considerando che fra i volumi in ingresso e quelli in uscita si stabilisce una relazione per effetto di una concomitante trasformazione dei due sottosistemi da cui è costituito il bacino:

- sui versanti, un'aliquota delle precipitazioni totali viene persa a causa del fenomeno dell'infiltrazione e quindi ai fini del bilancio di piena nella sezione finale contribuisce soltanto una parte delle precipitazioni totali, definita pioggia "efficace";
- nella rete idrografica, l'aliquota delle piogge efficaci derivante dai versanti viene invasata e trasportata alla sezione di sbocco a costituire l'idrogramma di piena, che si manifesta con un certo ritardo nei confronti del pluviogramma che lo ha causato.

Per definire l'effetto dei versanti sulla determinazione della pioggia "efficace" si definisce coefficiente di afflusso di piena C_f il rapporto tra i volumi di piena e le precipitazioni totali sul bacino in un prefissato intervallo di tempo.

Per tenere conto del ritardo con cui l'idrogramma di piena si manifesta nella sezione di chiusura di un bacino rispetto al pluviogramma che lo ha determinato, è necessario definire una funzione di risposta del bacino stesso ad un ingresso impulsivo unitario detto anche idrogramma unitario istantaneo o IUH. Per pluviogramma di forma rettangolare, con durata ed intensità in accordo con la legge di probabilità pluviometrica sul bacino $m[I_A(d)]$, l'idrogramma di piena

corrispondente ha ordinata al colmo proporzionale all'intensità di pioggia per mezzo di un coefficiente di attenuazione di piena $S(d)$ o funzione di picco $S(d) = \int_{t_p-d}^d u(\tau) dt$ in cui $u(\tau)$ è l'idrogramma unitario istantaneo, t_p è l'istante in cui si manifesta il colmo di piena, misurato a partire dal momento di inizio della pioggia.

La forma assunta da $S(d)$ dipende sostanzialmente dal tempo di ritardo del reticolo idrografico t_r , definito come intervallo temporale che intercorre tra il baricentro del pluviogramma e quello dell'idrogramma corrispondente.

Definita la funzione $S(d)$, la portata al colmo di piena per unità di area dipende in maniera proporzionale dal prodotto $m[I_A(d)] S(d)$, in cui all'aumentare di d il primo termine diminuisce mentre il secondo aumenta. Il valore della durata d per cui tale prodotto risulta massimo viene definito durata critica del bacino d_c .

Il massimo annuale della portata al colmo di piena, che si verifica dunque per eventi di durata d_c , viene definito come:

$$m(Q) = C_f \cdot A \cdot S(d_c) \cdot m[I_A(d_c)] \quad (4)$$

La (4) può essere riscritta come:

$$m(Q) = \frac{C_f \cdot q \cdot m[I_A(t_r)] \cdot A}{3.6} \quad (5)$$

in cui

- t_r = tempo di ritardo del bacino, in ore;
- C_f = coefficiente di deflusso, caratteristico del bacino;
- $m[I_A(t_r)]$ = media del massimo annuale dell'intensità di pioggia areale di durata pari al tempo di ritardo t_r del bacino, in mm/ora;
- A = area del bacino, in km^2 ;
- q = coefficiente di attenuazione del colmo di piena

Seguendo l'approccio sopra definito, per lo studio del bacino e per valutare la media dei massimi annuali della portata al colmo di piena $m(Q)$, risulta in definitiva necessario:

- determinare le caratteristiche morfologiche ed altimetriche dei bacini idrografici;
- definire la legge di probabilità pluviometrica areale $m[I_A(d)]$;
- calcolare i parametri del modello geomorfoclimatico C_f e t_r .

4.3.2.2 *Caratteristiche morfometriche ed altimetriche dei bacini idrografici*

Ogni bacino è caratterizzato morfologicamente ed altimetricamente attraverso la definizione di una serie di grandezze. Precisamente sono state considerate le seguenti caratteristiche geometriche:

- la superficie del bacino;
- la lunghezza dell'asta principale;
- la quota minima coincidente con la sezione di chiusura del bacino;
- l'altitudine massima del bacino riferita al livello medio del mare;
- l'altitudine media, definita come il valore medio della curva ipsografica.

4.3.2.2.1. Altitudine media e Curva ipsografica

Per valutare l'altezza media di un bacino si divide tutta la superficie A in aree parziali A_i comprese tra due curve di livello fra di loro non troppo distanti, in modo da ritenere l'altezza h_i della fascia uguale alla media dei valori delle due curve di livello che la limitano. Si suppone cioè che in quel breve tratto la pendenza sia costante. Si misurano, poi, le aree delle superfici parziali A_i . L'altezza media h_m del bacino è la media ponderata delle altezze medie delle superfici parziali, cioè:

$$h_m = \frac{\sum h_i \cdot A_i}{A} \quad (6)$$

Essa rappresenta il valore medio della curva ipsografica; in particolare, è data dall'area compresa tra la curva ipsografica e gli assi coordinati divisa per l'area dell'intero bacino.

Pertanto nello studio del bacino si costruisce anche la curva ipsografica, che rappresenta la ripartizione delle aree topografiche nelle varie fasce altimetriche. Essa si traccia considerando la successione dei valori delle superfici poste al di sopra di prefissati valori delle quote. La curva ipsografica permette anche di determinare l'estensione del bacino al di sopra o al di sotto di una certa quota.

4.3.2.3 *La legge di probabilità pluviometrica areale*

La legge di probabilità pluviometrica areale consente di conoscere come varia la media del massimo annuale dell'altezza di pioggia $m[h_A(d)]$ in funzione della durata d e dell'area del bacino A .

Nota la legge $m[h_A(d)]$, è possibile definire la media dei massimi annuali dell'intensità di pioggia areale come

$$m[l_A(d)] = m[h_A(d)] / d \quad (7)$$

La metodologia comunemente impiegata consiste nell'ottenere la media del massimo annuale dell'altezza di pioggia areale $m[h_A(d)]$ dalla media del massimo annuale dell'altezza di pioggia puntuale $m[h(d)]$ attraverso un fattore di ragguaglio noto come coefficiente di riduzione areale $K_A(d)$ come:

$$m[h_A(d)] = K_A(d) \cdot m[h(d)] \quad (8)$$

Per definire la $m[h_A(d)]$ risulta dunque necessario:

- definire la legge di probabilità pluviometrica $m[h(d)]$;
- calcolare il coefficiente di riduzione areale.

4.3.2.3.1. La legge di probabilità pluviometrica

Per la stima della legge di probabilità pluviometrica, che definisce appunto la variazione della media del massimo annuale dell'altezza di pioggia con la

durata, il Rapporto VAPI Campania fa sostanzialmente riferimento a leggi a quattro parametri del tipo:

$$m[h(d)] = \frac{m[l_0] \cdot d}{\left(1 + \frac{d}{d_c}\right)^{C-D \cdot z}} \quad (9)$$

in cui $m[l_0]$ rappresenta il limite dell'intensità di pioggia per d che tende a 0.

Nel Rapporto VAPI Campania i parametri della suddetta legge sono stati determinati, per sei aree ritenute omogenee dal punto di vista pluviometrico, attraverso una procedura di stima regionale utilizzando i dati di 44 stazioni pluviografiche con più di 10 anni di osservazioni, ed in particolare:

- i massimi annuali delle altezze di pioggia in intervalli di 1, 3, 6, 12 e 24 ore;
- le altezze di pioggia relative ad eventi di notevole intensità e breve durata, che il SIMN non certifica come massimi annuali.

Area omogenea	n. stazioni	m(l ₀) (mm/ora)	d _c (ore)	C	D*10 ⁵	ρ ²
1	14	77.08	0.3661	0.7995	3.6077	0.9994
2	12	83.75	0.3312	0.7031	7.7381	0.9991
3	5	116.7	0.0976	0.7360	8.7300	0.9980
4	3	78.61	0.3846	0.8100	24.874	0.9930
5	6	231.8	0.0508	0.8351	10.800	0.9993
6	4	87.87	0.2205	0.7265	8.8476	0.9969

Tabella B – Parametri statistici delle leggi di probabilità pluviometriche regionali per ogni area pluviometrica omogenea

2.3.2.3.1 Il coefficiente di riduzione areale

Il fattore di riduzione areale viene ritenuto costante al variare del periodo di ritorno, e pari a:

$$K_A(d) = 1 - \left[(1 - \exp(-c_1 \cdot A)) \cdot \exp(c_2 \cdot d^{c_3}) \right] \quad (10)$$

con:

- A = area del bacino, in km^2 ;
- $c_1 = 0.0021$;
- $c_2 = 0.53$;
- $c_3 = 0.25$;

Per i bacini molto piccoli K_A è praticamente pari ad 1.

2.3.2.4 I parametri del modello geomorfoclimatico

Nel Rapporto VAPI Campania il territorio campano è stato suddiviso in complessi idrogeologici costituiti da litotipi che, pur diversi, mantengono un identico comportamento nei confronti dell'infiltrazione, della percolazione e della circolazione dell'acqua nel sottosuolo. Questi complessi sono stati accorpati nelle seguenti cinque classi in base alle caratteristiche di permeabilità:

1. **classe A** (*alta capacità di permeabilità*), in essa sono inclusi quasi esclusivamente i calcari per la loro elevatissima capacità di infiltrazione dovuta all'alto grado di permeabilità per fessurazione e carsismo che li caratterizza ;
2. **classe MA** (*capacità di permeabilità medio-alta*), che ingloba, quasi esclusivamente, le dolomie. Questo litotipo, che costituisce la base affiorante di quasi tutti i massicci carbonatici campani, ha un grado di permeabilità inferiore a quello dei calcari;
3. **classe M** (*media capacità di permeabilità*), comprendente i detriti di falda e di conoide, i depositi alluvionali e il complesso delle lave;
4. **classe MB** (*capacità di permeabilità medio-bassa*), ad essa appartengono i complessi sabbioso- conglomeratico pliocenico, arenaceo-breccioso miocenico, piroclastico, calcareo-siliceo e fluvio-lacustre e lacustre;

5. **classe B** (*bassa capacità di permeabilità*), comprendente tutti i depositi prevalentemente argillosi che, a scala regionale, possono considerarsi per lo più impermeabili.

Sempre ai fini dei deflussi di piena, è stato mostrato inoltre che una certa influenza viene esercitata anche dalla presenza di copertura boschiva, essenzialmente in funzione del tipo di permeabilità del terreno interessato.

La metodologia proposta dal VAPI Campania per la valutazione dei parametri del modello geomorfoclimatico, e cioè del coefficiente di deflusso C_f e del tempo di ritardo del bacino t_r , assume alla base la suddivisione di ogni bacino complessi omogenei dal punto di vista idrogeologico.

In particolare, l'intero territorio, è stato suddiviso in:

- le aree permeabili con copertura boschiva, indicate con A_3 ;
- le aree permeabili senza copertura boschiva, indicate con A_1 ;
- le aree a bassa permeabilità, indicate con A_2 .

2.3.2.4.1 Il coefficiente di deflusso C_f

Dato il significato del coefficiente di deflusso, l'ipotesi più semplice per la sua stima consiste nell'assumere che esista un valore di C_f per ogni singolo complesso omogeneo e nel considerare il valore globale come la media pesata di tali valori caratteristici.

Adottando, invece, il metodo geomorfoclimatico, risulta:

$$C_f = C_{f1} \frac{A_1}{A} + C_{f2} \frac{A_2}{A} + C_{f3} \frac{A_3}{A} \quad (11)$$

Nel Rapporto VAPI Campania sono stati stimati per C_{f1} , C_{f2} e C_{f3} i seguenti valori:

- C_{f1} = coefficiente di afflusso dell'area permeabile senza bosco = 0.42;
- C_{f2} = coefficiente di afflusso dell'area impermeabile = 0.56

- C_{f3} = coefficiente di afflusso dell'area permeabile con copertura boschiva = 0.00

2.3.2.4.2 Il tempo di ritardo t_r

Adottando il metodo geomorfoclimatico, il tempo di ritardo può essere calcolato come media pesata del ritardo medio di ognuno dei complessi idrogeologici eterogenei:

$$t_r = \frac{C_{f1} \cdot A_1}{C_f \cdot A} \frac{1.25}{3.6 \cdot c_1} \sqrt{A_1} + \frac{C_{f2} \cdot A_2}{C_f \cdot A} \frac{1.25}{3.6 \cdot c_2} \sqrt{A_2} \quad (12)$$

Nella precedente risultano (dalle stime effettuate nel Rapporto VAPI Campania):

- c_1 = celerità media di propagazione dell'onda di piena nel reticolo idrografico relativa alle aree permeabili senza bosco = 0.23 m/s;
- c_2 = celerità media di propagazione dell'onda di piena nel reticolo idrografico relativa alle aree impermeabili = 1.87 m/s.

Per C_{f1} e C_{f2} valgono i valori descritti al paragrafo precedente ($C_{f1} = 0.42$ e $C_{f2} = 0.56$).

2.3.2.5 La piena media annua

Definita la legge di probabilità pluviometrica areale e calcolati i parametri C_f e t_r , la piena media annua viene calcolata, come detto precedentemente, con la relazione:

$$m(Q) = \frac{C_f \cdot q \cdot m[I_A(t_r)]A}{3.6} \quad (13)$$

Nella precedente il coefficiente di attenuazione del colmo di piena dipende in maniera complessa dalla forma della legge di probabilità pluviometrica e dalla risposta della rete idrografica e consente di tenere conto, tra l'altro, dell'errore che si commette nell'assumere che la durata critica del bacino, e cioè la durata della pioggia che causa il massimo annuale del colmo di piena, sia pari al tempo

di ritardo t_r del bacino stesso. Esso può essere valutato, in prima approssimazione, come:

$$q = \begin{cases} 0.60 & \text{se } 0.25 \leq 1 + k_1 \cdot A - \frac{\beta t_r / d_c}{1 + t_r / d_c} \leq 0.45 \\ 0.65 & \text{se } 0.45 \leq 1 + k_1 \cdot A - \frac{\beta t_r / d_c}{1 + t_r / d_c} \leq 0.65 \end{cases} \quad (14)$$

in cui:

- $\beta = (C - D \cdot z)$ e d_c sono i parametri della legge di probabilità pluviometrica;
- k_1 è un coefficiente numerico pari a $1.44 \cdot 10^{-4}$ se l'area A è espressa in km^2 e il tempo di ritardo t_r in ore.

4.4 Risultati

Rispetto ai bacini considerati nel PAI si è provveduto ad un infittimento delle sezioni di chiusura, in particolare in prossimità degli affluenti più importanti e significativi dal punto di vista idrologico ed idraulico. Le sezioni di chiusura individuate sono riportate di seguito. Il codice identificativo è coincidente con quello riportato nel Sistema Informativo Geografico del PAI. Le nuove sezioni di chiusura sono state identificate aggiungendo una lettera al codice originario della sezione più vicina.

Fiume Capodifiume

Codice	Descrizione
C_01	Fiume Capodifiume alla foce
C_01a	Fiume Capodifiume a monte di Via Licinella
C_01b	Fiume Capodifiume in località Santa Venere
C_01c	Fiume Capodifiume a monte dell'attraversamento ferroviario
C_01d	Fiume Capodifiume a monte dell'attraversamento SS 18

C_02	Fiume Capodifiume a monte dei templi (attraversamento SP 276)
C_02a	Fiume Capodifiume in località Cortigliano (valle)
C_02b	Fiume Capodifiume in località Cortigliano (monte)
C_02c	Fiume Capodifiume in località Macchia d'Olmo (valle)
C_02d	Fiume Capodifiume in località Macchia d'Olmo (monte)

Per la stima delle portate di piena per preassegnati tempi di ritorno è stato necessario individuare, per ogni bacino:

- le caratteristiche geometriche: area, quota minima, quota massima e quota media;
- il coefficiente di deflusso C_f ed il tempo di ritardo t_r .

Per la determinazione dei parametri C_f e t_r del modello geomorfoclimatico è stato necessario innanzitutto definire, per ogni bacino, i complessi omogenei dal punto di vista idrogeologico.

In particolare, note per ogni bacino le aree permeabili ed impermeabili, (dedotte dalla *Carta della permeabilità* fornita dall'Autorità di Bacino Sinistra Sele) e le aree ricoperte da bosco (ricavate dalla carta della *Copertura boschiva* ad uopo redatta), è stato possibile determinare le aree A_1 , A_2 e A_3 così come definite al paragrafo 2.3.2.4.

Calcolati i suddetti parametri, è stato possibile stimare i valori della piena media annua e tutte le portate al variare del periodo di ritorno, come descritto in dettaglio al paragrafo 2.3.2.5.

In tabella sono riportati unicamente i risultati relativi alla carta della permeabilità "media" cui si farà riferimento nel prosieguo dello studio.

Codice	A Area (Km²)	Y_{max} Quota massima (m s.l.m.m.)	Y_{min} Quota minima (m s.l.m.m.)	Y_{med} Quota media (m s.l.m.m.)
C_01	8.74	42.49	0.00	22.73
C_01a	8.68	42.49	4.27	22.84
C_01b	8.14	42.49	6.44	23.84

C_01c	6.88	46.37	12.51	26.09
C_01d	6.50	43.87	14.55	27.12
C_02	5.45	46.37	18.53	28.43
C_02a	4.60	46.37	18.83	28.08
C_02b	3.81	43.87	19.39	27.75
C_02c	2.03	43.87	23.57	29.98
C_02d	1.02	42.34	23.59	30.81

Tabella 1: Caratteristiche fisiografiche dei bacini

Codice	A Area (Km ²)	A1 Area permeabile senza bosco (Km ²)	A2 Area impermeabile (Km ²)	A3 Area permeabile con bosco (Km ²)
C_01	8.737	8.340	0.350	0.005
C_01a	8.684	8.361	0.323	0.000
C_01b	8.135	7.814	0.321	0.000
C_01c	6.885	6.679	0.206	0.000
C_01d	6.501	6.347	0.154	0.000
C_02	5.447	5.290	0.090	0.000
C_02a	4.600	4.524	0.076	0.000
C_02b	3.809	3.746	0.064	0.000
C_02c	2.026	2.004	0.022	0.000
C_02d	1.020	1.020	0.000	0.000

Tabella 2: Caratteristiche geomorfologiche dei bacini

Codice	m[l ₀] (mm/ora)	d _c	C	D	β
C_01	77.1	0.3661	0.7995	0.000086077	0.797543814
C_01a	77.1	0.3661	0.7995	0.000086077	0.797533812
C_01b	77.1	0.3661	0.7995	0.000086077	0.797448355
C_01c	77.1	0.3661	0.7995	0.000086077	0.797254027
C_01d	77.1	0.3661	0.7995	0.000086077	0.797165867

C_02	77.1	0.3661	0.7995	0.000086077	0.797052865
C_02a	77.1	0.3661	0.7995	0.000086077	0.797083044
C_02b	77.1	0.3661	0.7995	0.000086077	0.797110941
C_02c	77.1	0.3661	0.7995	0.000086077	0.796919549
C_02d	77.1	0.3661	0.7995	0.000086077	0.796847572

Tabella 3: Parametri ponderati delle leggi pluviometriche dei bacini

Codice	A Area (Km ²)	C _f Coefficiente di deflusso	t _r Tempo di ritardo (ore)	K _A Coefficiente di riduzione areale	m[I _A (t _r)] Media dell'intensità di pioggia areale (mm/ora)	n Coeff. di potenza della LPP di tipo monomio equivalente	m(Q) Portata media annua (m ³ /s)
C_01	8.74	0.42	4.13	0.99	10.33	0.27	6.70
C_01a	8.68	0.43	4.16	0.99	10.29	0.27	6.69
C_01b	8.14	0.43	4.01	0.99	10.58	0.27	6.45
C_01c	6.88	0.42	3.75	0.99	11.12	0.27	5.72
C_01d	6.50	0.42	3.69	0.99	11.27	0.28	5.46
C_02	5.45	0.42	3.40	0.99	11.97	0.28	4.75
C_02a	4.60	0.42	3.14	1.00	12.67	0.29	4.33
C_02b	3.81	0.42	2.86	1.00	13.56	0.29	3.84
C_02c	2.03	0.42	2.11	1.00	16.79	0.32	2.53
C_02d	1.02	0.42	1.52	1.00	20.82	0.36	1.57

Tabella 4: Medie dei massimi annuali delle portate al colmo per i bacini

Codice	Q ₂	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₃₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₃₀₀	Q ₅₀₀	Q ₁₀₀₀
C_01	5.83	8.65	10.93	13.61	15.22	17.50	20.58	25.07	27.82	30.30
C_01a	5.82	8.63	10.90	13.57	15.18	17.45	20.53	25.01	27.75	30.22
C_01b	5.61	8.32	10.51	13.09	14.63	16.82	19.79	24.11	26.75	29.14
C_01c	4.98	7.38	9.33	11.62	12.99	14.93	17.57	21.40	23.75	25.86
C_01d	4.75	7.05	8.90	11.09	12.40	14.26	16.77	20.43	22.67	24.69

C_02	4.13	6.13	7.75	9.65	10.79	12.40	14.59	17.77	19.72	21.48
C_02a	3.77	5.59	7.06	8.79	9.83	11.30	13.30	16.20	17.97	19.58
C_02b	3.34	4.95	6.26	7.80	8.72	10.02	11.79	14.36	15.94	17.36
C_02c	2.20	3.26	4.12	5.13	5.74	6.60	7.76	9.45	10.49	11.42
C_02d	1.37	2.03	2.56	3.19	3.57	4.11	4.83	5.89	6.53	7.11

Tabella 5: Portate di piena dei bacini per preassegnati periodi di ritorno

In definitiva, facendo riferimento allo schema idraulico riportato nel paragrafo che segue, le portate utilizzate sono quelle riportate nella prossima tabella.

	Q ₃₀	Q ₁₀₀	Q ₃₀₀
Codice	Portata (m ³ /s)		
1	15.22	20.58	25.07
2	15.18	20.53	25.01
3	14.63	19.79	24.11
4	12.99	17.57	21.40
5	12.40	16.77	20.43
6	10.79	14.59	17.77
7	9.83	13.30	16.20
8	8.72	11.79	14.36
9	5.74	7.76	9.45
10	3.57	4.83	5.89

Tabella 1: portate utilizzate nel calcolo idraulico fiume Capodifiume

5. STUDIO IDRAULICO DELLO STATO DI FATTO

5.1 Schema idraulico di riferimento

Ai fini della modellazione idraulica il corso d'acqua in esame è stato suddiviso in 10 tronchi idrologicamente omogenei.

In ciascun tronco la portata è stata ritenuta costante e, cautelativamente, pari a quella relativa alla sezione terminale dello stesso.

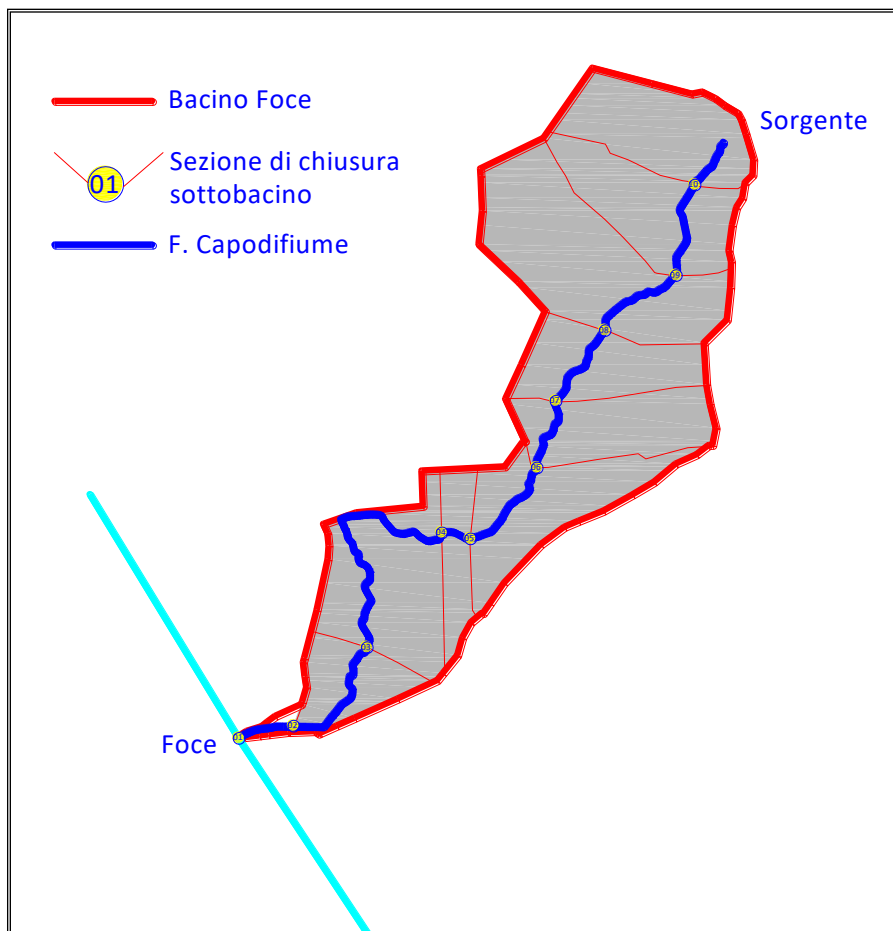


Figura 1: Schema idraulico di riferimento

5.2 Modelli di calcolo utilizzati

5.2.1 Generalità

La scelta dei modelli di calcolo da utilizzare per la definizione delle condizioni di moto in alveo e la delimitazione delle aree inondabili è scaturita da una serie di considerazioni, alcune di natura strettamente idraulica, altre legate

alle condizioni del corso d'acqua e delle aree ad esso limitrofe, attentamente valutate nei sopralluoghi effettuati.

In particolare, il fiume Capodifiume è caratterizzato da un alveo incassato che in alcuni tratti, fortemente antropizzati, non consente il transito della portata trentennale, e da aree limitrofe con andamento pianeggiante e quote spesso inferiori a quella delle sponde dell'alveo. Tali caratteristiche evidenziano la necessità di caratterizzare il fiume attraverso un modello di moto vario monodimensionale, e l'espansione della piena nelle aree limitrofe al corso d'acqua attraverso un modello di moto vario bidimensionale.

5.2.2 Studio idraulico in moto vario monodimensionale

Tale studio è stato articolato essenzialmente in tre fasi:

1. caratterizzazione della geometria del corso d'acqua e della morfologia delle aree limitrofe ad esso;
2. applicazione del modello idraulico per la simulazione del moto della corrente in alveo, per la valutazione delle caratteristiche idrauliche di tale corrente in corrispondenza delle portate stimate dallo studio idrologico (per $T=30$, 100 e 300 anni) e per definire gli eventuali idrogrammi e volumi di esondazione corrispondenti al transito di tali portate per poter rappresentare il conseguente fenomeno di inondazione nelle aree latitanti il corso d'acqua.
3. Applicazione del modello in moto vario bidimensionale per la mappatura delle aree inondabili.

In relazione al **punto 1** si è ampiamente discusso al capitolo 3.

Relativamente al **punto 2**, è stato utilizzato un modello in cui il moto lungo il corso d'acqua è stato schematizzato come vario monodimensionale, con fondo fisso.

Tale modello è implementato nel codice di calcolo sviluppato dall'United States Army Corps of Engineering (USACE), Hydrological Engineering Center (HEC) e denominato River Analysis System (RAS).

Il codice rappresenta l'ultima evoluzione di una lunga serie di codici della famiglia *HEC* ed è espressamente dedicato al calcolo di profili idrici in alvei naturali in condizioni di moto permanente e, nell'ultima versione, di moto vario.

La scelta è stata dettata principalmente dall'estrema affidabilità del codice stesso, attestata dalle numerosissime applicazioni effettuate in tutto il mondo.

Alla scelta di *HEC-RAS* hanno, tuttavia, contribuito ulteriori considerazioni. Prima fra tutte la larga disponibilità del codice nell'ambito dei tecnici operanti nel settore dell'ingegneria idraulica, essenzialmente dovuta alla sua natura "*freeware*". Ciò garantisce la riproducibilità, e dunque la verificabilità, delle elaborazioni presentate con evidenti vantaggi in termini non solo di trasparenza, ma anche di confronto e approfondimento circa i risultati conseguiti.

L'utilizzo di *HEC-RAS* ha consentito di determinare, sezione per sezione e per le portate di piena con periodo di ritorno $T=30$, $T=100$ e $T=300$ anni, le caratteristiche della corrente: livello idrico, condizioni di moto, diagramma delle velocità, velocità media, ecc. Inoltre, sono stati determinati gli eventuali idrogrammi e volumi di esondazione sempre in riferimento ai periodi di ritorno suddetti.

Per un maggiore dettaglio sulle caratteristiche del modello si rimanda all'Appendice 1.

Per quanto attiene al **punto 3**, una delle differenze basilari tra la modellistica relativa al deflusso delle portate di piena negli alvei fluviali e quella relativa ai processi di inondazione consiste nella diversa dimensionalità dei due fenomeni, in quanto il fenomeno di inondazione richiede evidentemente una descrizione bidimensionale. È talvolta possibile però un approccio di tipo semplificato, quando il moto della corrente può essere schematizzato come monodimensionale. Tale argomento sarà trattato nei paragrafi che seguono.

5.2.2.1 Valori del coefficiente di scabrezza.

Uno degli aspetti più delicati nell'applicazione di un modello è certamente la definizione dei coefficienti di scabrezza da utilizzare.

In questo caso specifico, non avendo a disposizione prelievi da alveo che consentissero di definire tali coefficienti, anche se con formule approssimate, si è fatto riferimento ai valori forniti dalla letteratura scientifica (cfr. tabella 3) tenendo conto del tipo di fondo alveo e sponda che caratterizzano il fiume Capodifiume.

<i>Descrizione del tipo di materiale</i>	<i>n</i> Coefficiente di Manning ($m^{1/3}s$)	<i>K</i> Coefficiente di Strickler ($m^{1/3}s^{-1}$)
Sabbia fine	0.020	50
Sabbia e ghiaia	0.020	50
Ghiaia grossolana	0.025	40
Ciottoli e ghiaia	0.035	29
Argilla (coesiva)	0.025	40
Argilla friabile (coesiva)	0.025	40
Limo e ciottoli (coesivo)	0.030	33
Cotici erbosi	0.040	25
Talee - Arbusti	0.040	25
Copertura diffusa	0.040	25
Viminate - Graticciate	0.040	25
Ribalta viva	0.040	25
GabionMats 0.30m	0.030	33
Gabbioni 0.50m	0.030	33
Gabbioni 1.00m	0.030	33
RipRap (Pietrame sciolto)	0.040	25

Tabella 3: Coefficienti di scabrezza forniti dalla letteratura scientifica al variare del tipo di materiale

Dai sopralluoghi in situ è emerso che il fondo del fiume è caratterizzato da limo e ciottoli mentre le sponde sono fondamentalmente ricoperte da

vegetazione, a tratti molto rigogliosa, con presenza sia di arbusti che di piante ad alto fusto.

Pertanto, tenendo conto dei valori riportati nella tabella 3, i coefficienti di scabrezza di Manning da adottare sono per l'alveo compresi tra $0.025 \div 0.030 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$, mentre per le sponde $0.04 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$.

In definitiva sono stati adottati:

- per l'alveo un coefficiente di Manning pari a $0.033 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ corrispondente ad un coefficiente di Strickler pari a $30 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$;
- per le aree latitanti il torrente un coefficiente di Manning pari $0.05 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ corrispondente ad un coefficiente di Strickler pari a $20 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$.

5.2.2.2 Condizioni al contorno

Altro aspetto fondamentale nell'applicazione di un modello è rappresentato dalla definizione delle condizioni al contorno. Queste si distinguono in condizioni di tipo esterno e condizioni di tipo interno.

Per la condizione al contorno di monte è stato fissato l'idrogramma di piena calcolato nella sezione idrologica n. 10. Tale valore è stato incrementato da monte verso valle utilizzando una serie di condizioni al contorno interne che consento di tenere conto del contributo degli interbacini compresi tra una sezione idrologica e la successiva, concentrando il contributo proprio nella sezione idrologica successiva.

Per la condizione di valle (sbocco a mare), non si è tenuto conto della possibile interazione con il moto ondoso, assumendo, in assenza di informazioni più precise, un'altezza di set-up pari a 0 m s.l.m.m. D'altra parte si è visto che una condizione al contorno a valle di 0.3 s.l.m.m. non determina variazioni significative al profilo di corrente nel tratto terminale.

5.2.3 Studio idraulico in moto vario bidimensionale

Quando i volumi di esondazione risultano più che significativi alla comprensione del processo di inondazione e le aree limitrofe al corso d'acqua

molto pianeggianti, è necessario ricorrere a procedure più sofisticate, che modellano l'espansione della piena considerando il processo di inondazione come fenomeno bidimensionale.

Come detto ai paragrafi precedenti, tale approccio è stato utilizzato per definire le aree inondabili con periodo di ritorno 30, 100 e 300 anni del tratto di foce del fiume Capodifiume.

La scelta di utilizzare un modello di tipo bidimensionale è stata determinata essenzialmente da due fattori:

- la morfologia dei luoghi;
- la forte antropizzazione della zona.

Dall'elaborazione svolta in moto permanente ci si è infatti resi conto che la procedura utilizzata, portava, in una zona essenzialmente pianeggiante, ad una sovrastima delle aree inondabili o comunque ad una approssimativa definizione delle stesse. *Al fine quindi, di ottenere risultati più precisi ed attendibili alla scala di riferimento si è utilizzato un modello bidimensionale.*

Nella limitata offerta di codici commerciali presente sul mercato, la scelta è caduta su FLO2D. Si tratta di un modello alle differenze finite, che integra le equazioni del moto vario, mediate sulla verticale, su griglia ortogonale non strutturata.

Il modello consente dunque di trattare campi di moto completamente bidimensionali; è inoltre possibile una modellazione di dettaglio di situazioni particolari (per esempio l'interazione con rilevati stradali, la presenza di tombini negli stessi ecc.).

5.2.3.1 Dati topografici di base

In questo caso i dati topografici di base richiedono una analisi ed una lavorazione più approfondite. In particolare, per modellare nella maniera più corretta possibile (compatibilmente con la scala di riferimento) il corso d'acqua e le aree ad esso limitrofe si è proceduto:

1. ad infittire le sezioni trasversali rilevate a terra attraverso una interpolazione delle stesse;
2. ad integrare i dati numerici della cartografia alla scala 1:2.000 con quelli relativi alle sezioni rilevate ed a quelle interpolate;
3. a creare, utilizzando la base di dati così definita, un modello digitale del terreno di maglia 12 m x 12 m.

5.2.3.2 Coefficienti di scabrezza

Nella modellazione bidimensionale su menzionata, al fine di ottenere valori più realistici possibile, si è deciso di differenziare i valori della scabrezza in funzione delle caratteristiche del terreno. In particolare i valori di K utilizzati sono i seguenti:

- $15 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per le aree limitrofe prevalentemente agricole o scarsamente urbanizzate;
- $10 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ o $5 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per le aree limitrofe urbanizzate (in funzione della densità di antropizzazione).

In realtà in questi casi è molto difficile, e spesso anche arbitrario, stabilire i corretti valori dei coefficienti di scabrezza, soprattutto quando con essi si vuole tenere conto di situazioni antropiche difficilmente modellabili in altro modo. Peraltro, effettuando una analisi di sensibilità dei risultati del modello, si è visto che sia le aree inondabili che le fasce fluviali restano sostanzialmente le stesse al variare di k entro piccoli range significativi. Questa verifica ha dissipato i dubbi, comunque legittimi, circa la scelta dei valori utilizzati.

5.2.3.3 Dati idrologici di input

Trattandosi di modello bidimensionale in moto vario, è ovvio che la portata fornita come input non può più essere un valore costante, ma deve essere un idrogramma di piena in una determinata sezione.

Si è dunque fatto riferimento agli idrogrammi calcolati nelle 10 sezioni di chiusura definite nello schema idraulico riportato al paragrafo 5.1.

In allegato si riportano gli idrogrammi di piena considerato per $T = 30, 100$

e 300 anni.

5.2.3.4 Delimitazione delle aree inondabili

Il modello applicato consente di stabilire le caratteristiche del moto della corrente per ogni cella del DTM e per ogni istante di tempo di propagazione della piena.

I valori di maggiore interesse, e cioè l'involuppo delle massime altezze raggiunte e delle massime velocità, sono riportati nelle figure in allegato per $T = 30, 100$ e 300 anni.

Tali risultati hanno consentito la delimitazione delle aree inondabili relativamente agli stessi periodi di ritorno.

5.3 Risultati dello studio idraulico

I risultati dello studio idraulico, redatto secondo l'approccio descritto nei paragrafi precedenti, sono sintetizzati nell'Allegato A alla presente relazione

In particolare, sono riportati:

1. profilo di corrente in forma grafica (- condizioni di moto vario lungo tutto il tratto in esame, portate con periodo di ritorno di $30, 100$ e 300 anni
2. profilo di corrente in forma tabellare (per tutte le sezioni naturali e tutti gli attraversamenti) - condizioni di moto vario lungo tutto il tratto in esame, portate con periodo di ritorno di $30, 100$ e 300 anni
3. idrogramma di piena per $T = 30, 100$ e 300 anni calcolato in corrispondenza del bacino con sezione di chiusura alla foce

In particolare, per quanto riguarda i risultati in forma tabellare relativamente allo studio in moto vario vengono fornite, per $t = 30, 100$ e 300 anni, come detto, tre differenti tabelle:

- nella prima, relativa alle sezioni naturali ed eventuali opere idrauliche trasversali in alveo (soglie, salti, briglie), sono riportati: N – Riferimento planimetrico; N_{HEC} – Riferimento HEC RAS; L – distanza progressiva dalla prima sezione di valle; Q_T - portata di calcolo; Y_b – quota minima di fondo; quota sponda destra; quota sponda sinistra; Y_w – livello idrico assoluto; Y_c –

livello di stato critico; H – carico totale; J_m – perdita di carico unitaria media; V_m – velocità media nella sezione; A – area sezione bagnata; B – larghezza in superficie; Fr – numero di Froude della sezione d'alveo.

- nella seconda, relativa agli attraversamenti, sono riportati: N – Riferimento planimetrico; N_{HEC} – Riferimento HEC RAS; Q_T - portata di calcolo; quota intradosso; Y_w – livello idrico assoluto; H – carico totale; franco rispetto all'intradosso.
- Nella terza, relativa ai tratti d'alveo in cui avviene l'esondazione, sono riportati: Picco di portata, durata e volume di esondazione.

Ovviamente tutte le quote, i livelli idrici ed i carichi idraulici sono misurati rispetto al livello 0.00 m s.l.m.m.

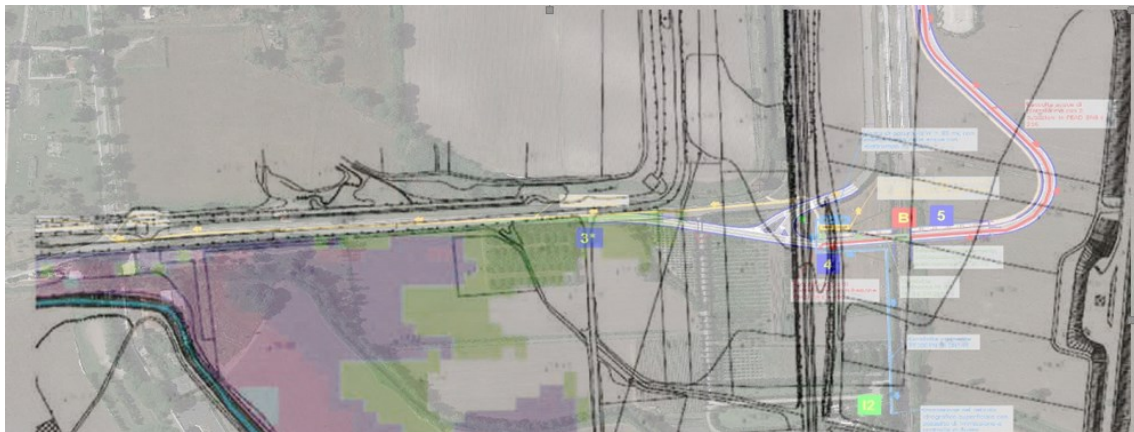
5.4 Conclusioni studio idraulico

I risultati del modello idraulico e le conseguenti perimetrazioni delle aree inondabili e delle aree a differente pericolosità idraulica consentono di effettuare le seguenti considerazioni:

1. Quasi tutti gli attraversamenti esistenti sono insufficienti al transito in sicurezza delle portate di calcolo;
2. le altre sezioni di deflusso sono sempre sufficienti al transito della portata trentennale (Q_{30}) e mediamente sufficienti al transito delle altre portate considerate (Q_{100} e Q_{300});
3. in varie sezioni idrauliche il franco di sicurezza esistente tra il massimo tirante idrico e la sommità della sponda è tuttavia esiguo;
4. l'esondazione nei tratti medio e alto del corso d'acqua avviene con picchi e volumi modesti;
5. le aree inondabili e le fasce fluviali interessano solo le aree in destra idraulica nei tratti compresi tra le sezioni 39 e 34, 23 e 18 e a ridosso della sezione 9. Solo in quest'ultimo caso, inoltre, l'esondazione determina una significativa inondazione delle aree limitrofe anche se, a meno di una sola zona, con bassi tiranti.

6. DESCRIZIONE DELLE OPERE PREVISTE IN PROGETTO

Il progetto prevede la realizzazione del sottopasso ferroviario e della viabilità che consente la connessione tra il sottopasso stesso e la stazione di capaccio – Paestum e Via Porta Giustizia. Non ci sono interferenze dirette con il corso d'acqua e lo scarico delle acque di piattaforma avviene, tramite vasche di laminazione che determinano l'invarianza idraulica, nel torrente Capodifiume immediatamente a valle dell'attraversamento ferroviario

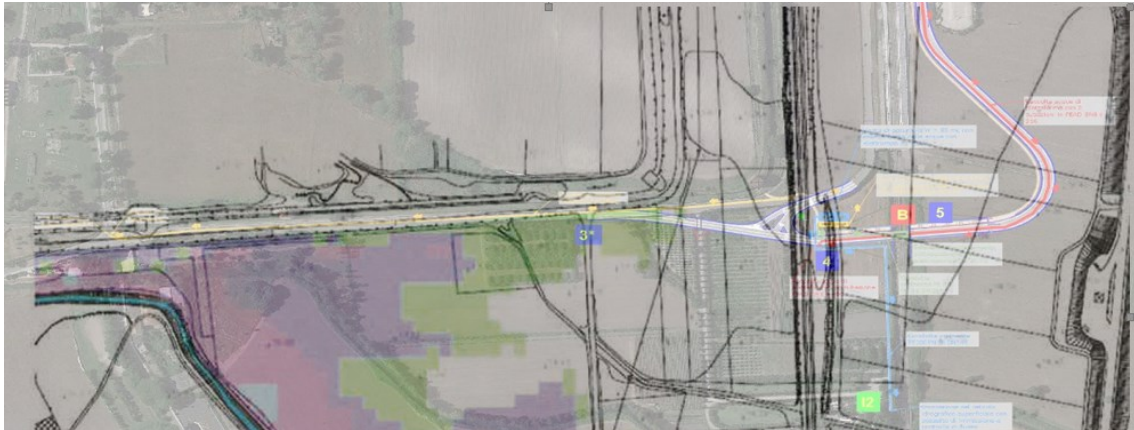


7. STUDIO IDRAULICO NELLA CONDIZIONE DI PROGETTO

Come anticipato, le opere di progetto sono state pensate per non interferire né con le condizioni di moto in alveo nella condizione attuale né tantomeno con quelle esterne all'alveo in caso di esondazioni del corso d'acqua stesso.

Considerando il fatto che l'area in destra idraulica del Capodifiume nel tratto di interesse risulta inondabile sia per periodo di ritorno 100 che 300 anni si è optato per una soluzione progettuale finalizzata a garantire che l'opera non sia tale da interferire sul deflusso delle piene. In tal modo la pericolosità dell'area non viene aggravata rispetto alla situazione attualmente prevista dal PAI vigente.

Il tracciato stradale interessa in maniera molto limitata la fascia C che corrisponde all'area inondabile a $T = 300$ anni di periodo di ritorno.



Pertanto, alla luce delle considerazioni effettuate, lo studio idraulico effettuato per lo stato di fatto rimane invariato anche nelle condizioni di progetto senza interferire in alcun modo sulla pericolosità e sul rischio idraulico esistenti.

8. CONCLUSIONI

Le norme di attuazione del piano vigente recitano, per la Fascia C, all'articolo 30 - Disciplina delle aree a pericolosità idraulica comprese nelle Fasce Fluviali C dei tre bacini idrografici, comma 1: Nelle aree definite come fascia C comune ai tre Bacini idrografici, sono consentiti tutti gli interventi previsti dallo strumento urbanistico comunale o altra pianificazione sovraordinata.

Pertanto l'intervento progettuale risulta idraulicamente compatibile con le norme vigenti.

 Ing. Sergio Ferrara 