



1.	PREMESSA	4
2.	Area di studio	4
3.	Caratteristiche dello studio	5
4.	Inquadramento generale	6
4.1	Inquadramento geografico	6
4.2	Inquadramento del bacino idrografico	6
4.2.1	Reticolo idrografico principale ricadente nei limiti comunali	6
5.	Sopralluoghi in situ	8
6.	Caratteristiche idrologiche dei bacini e massime portate di piena	9
6.1	Sintesi delle analisi idrologiche relative alle aste principali del bacino del Fiume Sarno effettuate nell'ambito del PAI.....	9
6.1.1	Valutazione del fattore regionale di crescita	10
6.1.2	Valutazione della piena media annua $m(Q)$	11
6.1.2.1	<i>Criteria di stima</i>	11
6.1.2.2	<i>Il modello geomorfoclimatico</i>	12
6.1.3	Risultati	23
6.2	Idrogrammi di piena.....	27
7.	Analisi idraulica	30
7.1	Caratterizzazione topografica del corso d'acqua e delle aree ad esso limitrofe	30
7.2	Definizione della capacità idraulica	31
7.3	Definizione degli eventi di progetto	34
7.3.1	Alveo Comune Nocerino.....	35
7.3.2	Fiume Sarno a monte della confluenza con l'ACN	38

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 1 di 79



8.	Modello idraulico adottato per la verifica idraulica in moto vario monodirezionale	44
8.1	Verifica idraulica	44
8.1.1	Risultati	46
8.1.1.1	<i>Alveo Comune Nocero</i>	46
8.1.1.2	<i>Fiume Sarno a monte della confluenza</i>	47
8.1.1.3	<i>Fiume Sarno a valle della confluenza</i>	48
9.	Perimetrazione delle aree inondabili	48
9.1	Generalità	48
9.2	Dominio di integrazione, definizione dell'input e dell'output del modello	49
9.3	Perimetrazione delle aree inondabili per l'area di studio	50
9.4	Analisi idraulica in moto vario bidimensionale - Definizione delle aree di espansione della piena	51
9.5	Definizione delle fasce fluviali	53
9.5.1	La regione fluviale	53
9.5.2	Le fasce di pertinenza fluviale	55
9.5.3	Risultati della modellazione idraulica	57
9.6	Risultati dello studio idraulico	59
10.	Conclusioni	59
10.1	Alevo Comune Nocerino	59
10.2	Fiume Sarno	60
11.	Elenco Elaborati	60
12.	Elenco figure e tabelle	61
13.	Appendice 1 – Modello idraulico di moto vario	63
13.1	Premessa	63

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 2 di 79



13.2	Equazioni di base e schema risolutivo	64
13.3	Procedura di calcolo	66
13.4	Caratterizzazione idraulica delle sezioni di calcolo	66
13.5	Cambiamenti del regime della corrente	67
13.6	Valutazione degli effetti delle pile dei ponti	68
13.7	Condizioni al contorno	70
13.7.1	Condizioni al contorno esterne	71
13.7.2	Condizioni al contorno interne	71
13.7.3	Condizioni iniziali	72
13.7.4	Valutazione delle portate eventualmente sfiorate lungo il percorso	72
13.7.5	Modalità di individuazione di eventuali risalti idraulici	73
14.	Appendice - Modello idraulico di moto bidimensionale	75
14.1	Descrizione del codice di calcolo	75
14.2	Dati ingresso	76
14.2.1	Dati topografici	76
14.2.2	Comportamento reologico del miscuglio	77
14.3	Routine di calcolo	79

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 3 di 79

1. PREMESSA

Il sottoscritto ing. Sergio Ferrara, iscritto all’Ordine degli Ingegneri della Provincia di Potenza al n° 1486, ha ricevuto incarico professionale dal Comune di San Marzano sul Sarno (determina 140 del 04/03/2013) al fine di redigere uno studio idraulico finalizzato alla riclassificazione delle fasce fluviali dei corsi d’acqua Sarno e Alveo Comune Nocerino per i tratti ricadenti all’interno del proprio territorio comunale.

2. Area di studio

Come detto, l’area oggetto di studio è il territorio comunale limitrofo ai corsi d’acqua Sarno e Alveo Comune Nocerino. Al fine di studiare per entrambi i corsi d’acqua, dei tratti idraulicamente omogenei, l’area di studio è stata estesa anche al di fuori dei confini comunali. In particolare, il fiume Sarno è stato studiato a monte nel tratto compreso tra la confluenza con l’ACN e l’attraversamento della FFSS Sarno Napoli (circa 15 km) e a valle della confluenza per circa 500 m. Per l’ACN lo studio è stato realizzato nel tratto compreso tra la confluenza con il fiume Sarno e la vasca Cicalesì (circa 5 Km).



Figura 1: Area di studio - ortofotopiano

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 4 di 79



3. Caratteristiche dello studio

Al fine di riclassificare le fasce fluviali per l'intera area in esame, facendo riferimento alle metodologie richiamate nell'Allegato E alle Norme di attuazione del PAI, è stato sviluppato uno studio idraulico di dettaglio articolato nelle sub-attività di seguito indicate:

1. definizione delle caratteristiche idrologiche dei bacini di riferimento (legge di probabilità pluviometrica e parametri geomorfoclimatici c_f e t_r) e le portate di piena naturali;
2. calcolo degli idrogrammi di piena naturali che possono affluire alla sezione di chiusura del bacino in riferimento ad un periodo di ritorno di 100 anni;
3. definizione delle condizioni di inondazione più gravose per l'area oggetto di studio in riferimento ad eventi di piena con periodo di ritorno centennale. In particolare, si è provveduto:
 - ✓ ad utilizzare il rilievo dei corsi d'acqua in oggetto fornito dall'Autorità di Bacino;
 - ✓ ad utilizzare il rilievo Lidar effettuato dall'Autorità di Bacino del Sarno per le aree limitrofe alle aste fluviali;
 - ✓ ad effettuare una apposita campagna di rilievi topografici per integrare i rilievi forniti dall'Autorità di Bacino;
 - ✓ a definire la capacità idraulica dei tratti oggetto di studio;
 - ✓ a definire gli *eventi di progetto*, cioè quelli che, tra tutti i possibili eventi di piena centennali, risultano essere i più gravosi per i tratti oggetto di studio in termini di portata e di volume di esondazione;
 - ✓ a perimetrare le aree inondabili in corrispondenza di detti eventi;
 - ✓ a definire le aree a differente pericolosità idraulica (Fasce Fluviali)

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 5 di 79

Va sottolineato che per quanto riguarda i punti 1 e 2 si è fatto riferimento ad i risultati ottenuti ed alle metodologie messe a punto nell'ambito del PAI del bacino del fiume Sarno, che si riportano sinteticamente, per completezza, nei paragrafi che seguono.

4. Inquadramento generale

4.1 Inquadramento geografico

L'area di studio è individuabile nella cartografia ufficiale I.G.M.I. al Foglio 185 III-NE (Sarno) Anno 1956 della Carta Topografica d'Italia Serie 25.

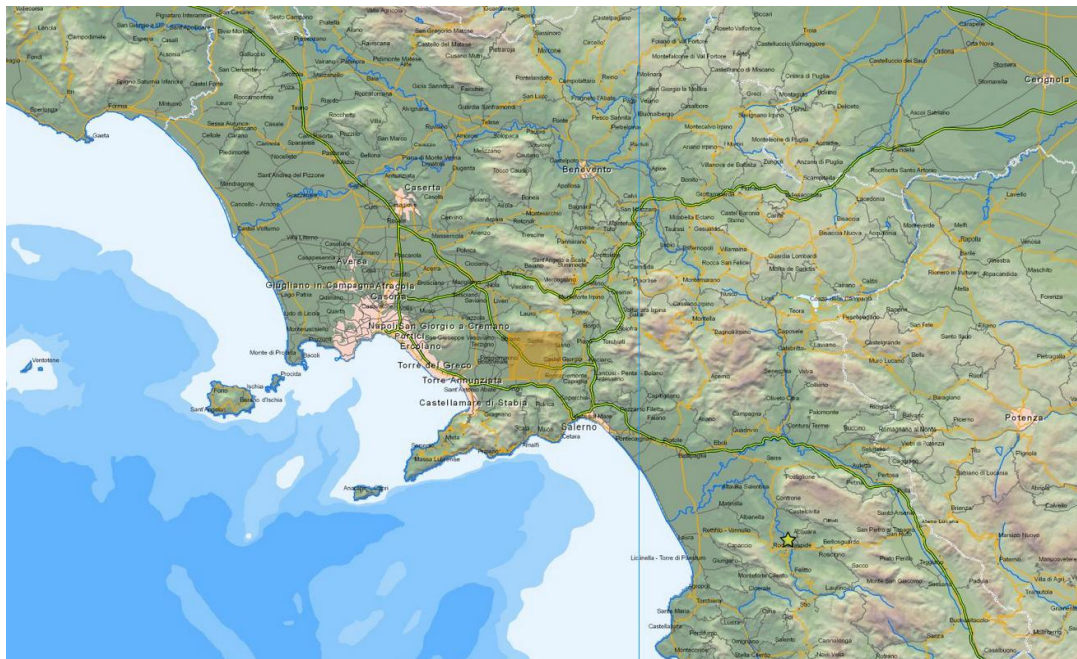


Figura 2: Inquadramento geografico

4.2 Inquadramento del bacino idrografico

4.2.1 Reticolo idrografico principale ricadente nei limiti comunali

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 6 di 79



Fiume Sarno

Il Fiume Sarno si estende al limite estremo del suo bacino, per circa 15 km, da Sarno fino a Castellammare di Stabia dove si immette a mare. Riceve alla sua testa le acque di Rio San Marino, Rio del Palazzo e Acqua della Foce e solo dopo la confluenza con quest'ultimo assume il nome e le caratteristiche di fiume. Riceve tutti i suoi affluenti, ed anche le acque di falda, dal lato sinistro; in particolare in corrispondenza del comune di S. Marzano sul Sarno si ha l'immissione nel Fiume Sarno dell'Alveo Comune Nocerinò.

Lungo il fiume Sarno sono ubicate diverse opere idrauliche che ne influenzano il normale deflusso. In particolare, in località Terze di Scafati, il Controfosso Destro del Sarno, o canale Piccolo Sarno, sottopassa a sifone l'alveo principale per confluire nel Controfosso Sinistro circa 480 m a valle.

Più a valle è ubicata la traversa di Scafati, la cui opera di presa è composta da due luci, di cui una alimenta il canale Casa e l'altra il canale Bottaro.

Alveo Comune Nocerinò

L'Alveo Comune Noverino raccoglie le acque provenienti dai torrenti Solofrana e Cavaiola e dopo circa 8,5 km confluisce nel fiume Sarno.

Lungo il suo corso è presente la vasca Cicalesì che ha funzione di laminazione delle piene in arrivo da monte

In corrispondenza del comune di S. Marzano sul Sarno l'ACN scolma nel nel Controfosso Sinistro dell'Alveo Comune Nocerinò attraverso uno sfioratore laterale.

Reticolo minore

Oltre ai due corsi d'acqua principali sono presenti nel territorio comunale una serie di canali e fossi che hanno la funzione di drenare le acque della piana. In particolare, i più importanti sono il Fosso Imperatore, Il Canale di Mauro, il controfosso destro, il controfosso sinistro e il canale Bonaiuto.

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 7 di 79



5. Sopralluoghi in situ

Al fine di caratterizzare l'area di interesse dal punto di vista idraulico e geomorfologico si è provveduto ad effettuare una campagna di sopralluoghi in situ che sono serviti a definire nel dettaglio le caratteristiche del corso d'acqua e delle aree limitrofe. I sopralluoghi hanno evidenziato che il fiume Sarno risulta incassato nel tratto di monte fino alla confluenza con il Canale di Mauro e di qui, fino alla confluenza, risulta arginato su entrambi i lati. L'ACN risulta arginato sia in sinistra che in destra idraulica tra la vasca Cicalesì e la confluenza con il fiume Sarno così come a valle della confluenza stessa. La Piana limitrofa al corso d'acqua è in parte a vocazione agricola, anche di pregio con numerosi impianti serricoli e in parte è residenziale.

Per quanto riguarda il corso d'acqua si presenta in condizioni sufficienti e non sono state rilevate particolari criticità lungo le sponde e il fondo del corso d'acqua risulta quasi sempre libero da vegetazione che, invece, è presente sulle sponde in particolar modo con i salici tipici degli ambienti fluviali.

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 8 di 79

6. Caratteristiche idrologiche dei bacini e massime portate di piena

Per quel che concerne le caratteristiche idrologiche del bacino, ed in particolare la Legge di Probabilità Pluviometrica ed i parametri geomorfoclimatici c_f e t_r , si è fatto riferimento ai risultati dello studio idrologico redatto nell'ambito del PAI, che ha consentito il calcolo delle portate di piena e dei relativi idrogrammi, in corrispondenza di periodi di ritorno $T = 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 300, 500, 1000$ anni, di 44 sezioni idrologiche ubicate lungo le aste principali del bacino idrografico del fiume Sarno. Di seguito si riportano, per completezza, i criteri utilizzati nell'ambito di detto studio, nonché i risultati ottenuti in relazione ai bacini di interesse.

6.1 Sintesi delle analisi idrologiche relative alle aste principali del bacino del Fiume Sarno effettuate nell'ambito del PAI

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.

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 9 di 79

Per quanto attiene alla valutazione del fattore regionale di crescita, il rapporto VAPI propone la formulazione riportata al paragrafo 2.1.1 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).

6.1.1 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 1 che segue sono riportati, per diversi periodi di ritorno, i valori di K_T ottenuti dall'equazione (3).

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 10 di 79



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
1000	4.64

Tabella 1 – Legge regionale di crescita delle portate per la regione Campania

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

6.1.2.1 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 mancano i 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.

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 11 di 79



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 ad Olevano) e 5542 Km² (Volturno a 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.

6.1.2.2 Il modello geomorfoclimatico

6.1.2.2.1 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.

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 12 di 79

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:

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

(4)

La (4) può essere riscritta come:

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

(5)

in cui:

- t_r = tempo di ritardo del bacino, in ore;
- C_f = coefficiente di deflusso, caratteristico del bacino;

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 13 di 79



- $m[I_A(t_r)]$ = 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 .

6.1.2.2.2. *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 quella della 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.

6.1.2.2.3. *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

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 14 di 79

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:

$$h_m = \frac{\sum h_i \cdot A_i}{A}$$

(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.

6.1.2.2.4. 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:

$$m[I_A(d)] = m[h_A(d)]/d$$

(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 ragguglio 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:

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 15 di 79



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

6.1.2.2.4.1 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:

$$m[h(d)] = \frac{m[I_0] \cdot d}{\left(1 + \frac{d}{d_c}\right)^{C-D \cdot z}}$$

(9)

in cui $m[I_0]$ 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	$m(I_0)$ (mm/ora)	D_c (ore)	C	$D \cdot 10^5$	r^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

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 16 di 79



Tabella 2: – Parametri statistici delle leggi di probabilità pluviometriche regionali per ogni area pluviometrica omogenea

Successivamente, nell'ambito di uno studio sviluppato dal C.U.G.RI. sul territorio dell'Autorità di Bacino del Sarno e utilizzato nel PAI (Piano per l'Assetto idrogeologico) della stessa Autorità di Bacino, è stata verificata la consistenza della rete idrografica del bacino del Sarno ed è stata aggiornata la banca dati relativa ai massimi annuali delle altezze di pioggia per la fissata durata registrata dal SIMN.

In particolare, sono stati quindi considerati i dati di 26 stazioni di misura, di cui solo 16 pluviografiche aventi più di 10 anni di osservazioni. I dati reperiti consistono ancora in:

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

Dall'analisi di tali dati è stato possibile suddividere l'intero bacino del Sarno in zone pluviometriche omogenee aggiungendo, rispetto ai risultati del VAPI, una zona 2 intermedia per cui il bacino stesso ricade nella zona 1, 2 e 2 intermedia (cfr. tabella 3).

Area omogenea	M(10)	d _c	C	D 10 ⁵
1	77.1	0.3661	0.7995	3.6077
2	83.8	0.3312	0.7031	7.7381
2 intermedia	85	0.3034	0.7621	9.6554

Tabella 3 – Parametri statistici delle leggi di probabilità pluviometriche regionali per ogni area pluviometrica omogenea per il bacino del fiume Sarno

6.1.2.2.4.2 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:

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 17 di 79



- 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.

6.1.2.2.5. 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;

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 18 di 79



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 modo differente a seconda che si tratti di bacini di estensione ridotta o di bacini maggiormente estesi.

In particolare, per i bacini di moderata estensione, il territorio è stato suddiviso in due soli complessi omogenei:

- le aree impermeabili A_{imp} ;
- le aree permeabili $A-A_{imp}$.

In tal caso parleremo di metodo geomorfoclimatico 1.

Per quanto attiene invece ai bacini di notevole estensione, 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 .

In tal caso parleremo di metodo geomorfoclimatico 2.

6.1.2.2.5.1 *Il coefficiente di deflusso C_f*

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 19 di 79



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 il metodo geomorfoclimatico 1, il coefficiente di deflusso risulta pari a:

$$C_f = C_{f1} \left(1 - \frac{A_{imp}}{A} \right) + C_{f2} \left(\frac{A_{imp}}{A} \right) \quad (11)$$

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

- C_{f1} = coefficiente di afflusso dell'area permeabile = 0.13;
- C_{f2} = coefficiente di afflusso dell'area impermeabile = 0.60.

Adottando il metodo geomorfoclimatico 2, risulta:

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

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 .

6.1.2.2.5.2 Il tempo di ritardo t_r

Adottando il metodo geomorfoclimatico 1, il Rapporto VAPI – Campania propone per il tempo di ritardo due diversi tipi di approcci:

- formula di Rossi (1974);
- Metodo VAPI-Rapporto Campania (Villani & Rossi, 1995).

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 20 di 79

La prima formulazione, di struttura molto semplice, è stata tarata sui bacini naturali lucani aventi sbocco sul Mare Ionico e, pertanto, potrebbe essere ritenuta potenzialmente utilizzabile anche nel territorio campano per i nostri fini.

Essa è data, in particolare, dall'espressione:

$$t_r = 0.77 \left(\frac{L}{\sqrt{P}} \right)^{0.295} \quad (12 a)$$

dove:

- L è la lunghezza dell'asta principale (in km);
- P è la pendenza media dell'asta principale (in m/m);
- t_r è il tempo di ritardo del bacino (in ore).

La pendenza media dell'asta principale è fornita dalla formula di Taylor & Schwartz, che può essere applicata solo dopo aver suddiviso il profilo del corso d'acqua principale in una serie di n_T tratti di lunghezza L_i e pendenza P_i .

$$\left(\frac{L}{\sqrt{P}} \right) = \sum_{i=1}^{n_T} \frac{L_i}{\sqrt{P_i}} \quad (13)$$

La seconda alternativa possibile per il calcolo del tempo di ritardo è quella proposta e tarata da F. Rossi e Villani (1995) nell'ambito del progetto VAPI del C.N.R., riportata, più in particolare, nel Rapporto VAPI - Campania.

In base ai ragionamenti ivi effettuati, Rossi e Villani propongono l'espressione :

$$t_r = \frac{c_{f1}}{c_f} p_p \frac{1.25}{3.6 \cdot c_1} \sqrt{S \cdot p_p} + \frac{c_{f2}}{c_f} p_p \frac{1.25}{3.6 \cdot c_2} \sqrt{S \cdot (1 - p_p)} \quad (12 b)$$

dove:

- p_p è la percentuale del bacino considerabile come completamente impermeabile;
- C_f è il coefficiente di afflusso;

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 21 di 79



- S è la superficie del bacino;
- c_1 è la celerità media di propagazione dell'onda di piena nel reticolo idrografico relativa alle aree permeabili senza bosco = 0.25 m/s;
- c_2 è la celerità media di propagazione dell'onda di piena nel reticolo idrografico relativa alle aree impermeabili = 1.70 m/s.

Per C_{f1} e C_{f2} valgono i valori : $C_{f1} = 0.13$ e $C_{f2} = 0.60$.

Adottando, invece, il metodo geomorfoclimatico 2, il tempo di ritardo può essere calcolato come media pesata del ritardo medio di ognuno dei complessi idrogeologici eterogenei:

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

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 $C_{f1} = 0.42$ e $C_{f2} = 0.56$.

6.1.2.2.6. 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:

$$m(Q) = \frac{C_f \cdot q \cdot m[I_A(t_r)]A}{3.6} \quad (14)$$

Nella precedente il coefficiente di attenuazione del colmo di piena dipende in maniera complessa dalla forma della legge di probabilità pluviometrica e dalla risposta

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 22 di 79

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:

$$q = \begin{cases} 0.60 & \text{se } 0.25 \leq 1 + k_1 \cdot A - \frac{\beta t_r / d_c}{1 + t_r / d_c} \leq 0.45 \\ 0.65 & \text{se } 0.45 \leq 1 + k_1 \cdot A - \frac{\beta t_r / d_c}{1 + t_r / d_c} \leq 0.65 \end{cases} \quad (15)$$

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.

6.1.3 Risultati

Il tratto oggetto di studio è posto lungo il fiume Sarno e l'Alveo Comune Nocerino. Le sezioni idrologiche individuate nell'ambito del PAI di interesse sono le seguenti:

Codice	Asta/località	Sezione di chiusura
	---	---
V024	Alveo Comune Nocerino	sezione n° 24: a monte della vasca Cicalesì
V025	Alveo Comune Nocerino	sezione n° 25: a monte dello scolmatore di piena che adduce le acque al controfosso di sinistra
V026	Alveo Comune Nocerino	sezione n° 26: a monte della confluenza con il fiume Sarno
V030	F. Sarno (Rio S.Marino)	sezione n° 30: a valle della confluenza con Rio Foce
V031	F. Sarno	sezione n° 31: a monte della confluenza con il Fosso Imperatore
V033	F. Sarno	sezione n° 33: a valle della confluenza con il Fosso Imperatore

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 23 di 79



V034	F. Sarno	sezione n° 34: a monte della confluenza con l'Alveo Comune Nocerino
------	----------	---

Tabella 4: Sezioni di chiusura di interesse

Nella tabella che segue si riportano, per detti bacini, le caratteristiche idrologiche principali desunte dal PAI ed utilizzate nel prosieguo.

2013	STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI		
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 24 di 79



Codice	A	Y _{max}	Y _{min}	Y _{med}	L
	Area del sottobacino	Quota massima del sottobacino	Quota minima del sottobacino	Quota media del sottobacino	Lunghezza asta principale
	(Km ²)	(m s.l.m.m.)	(m s.l.m.m.)	(m s.l.m.m.)	(m)
V024	232.98	1607	34	406	33479
V025	234.03	1607	13	404	38784
V026	234.51	1607	13	403	39248
V030	51.40	1133	13	233	7674
V031	65.17	1133	15	189	10908
V033	76.48	1133	15	171	11508
V034	77.91	1133	13	161	12919

Tabella 5: Caratteristiche fisiografiche dei bacini

Codice	m[l ₀]	d _c	C	D	β
	(mm/ora)				
V024	83.78	0.3313	0.7034	7.7242E-05	0.6720
V025	83.78	0.3313	0.7034	7.7244E-05	0.6722
V026	83.77	0.3313	0.7034	7.7241E-05	0.6723
V030	84.75	0.3087	0.7511	9.2827E-05	0.7294
V031	84.70	0.3100	0.7484	9.1985E-05	0.7310
V033	84.60	0.3125	0.7431	9.0267E-05	0.7276
V034	84.58	0.3128	0.7423	9.0027E-05	0.7278

Tabella 6: Parametri ponderati delle leggi pluviometriche dei bacini vallivi

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 25 di 79



Codice	A	C _f	t _r	K _A	m[I _A (t _r)]	m(Q)	q
	Area del sottobacino	Coefficiente di deflusso	Tempo di ritardo	Coefficiente di riduzione areale	Media dell'intensità di pioggia areale	Portata media annua	Portata unitaria
	(Km ²)		(ore)		(mm/ora)	(m ³ /s)	(m ³ /s/km ²)
V024	232.98	0.25	2.22	0.80	17.0	163	0.70
V025	234.03	0.25	2.22	0.80	16.9	162	0.69
V026	234.51	0.25	2.22	0.80	16.9	162	0.69
V030	51.40	0.24	0.90	0.94	29.5	67	1.30
V031	65.17	0.29	1.08	0.93	26.2	82	1.25
V033	76.48	0.28	1.14	0.91	25.3	89	1.16
V034	77.91	0.27	1.14	0.91	25.2	89	1.15

Tabella 7: Medie dei massimi annuali delle portate al colmo per i bacini vallivi

Codice	A	Q ₃₀	Q ₁₀₀	Q ₃₀₀
	Area del bacino	Portata	Portata	Portata
	(Km ²)	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
V024	232.98	369	499	608
V025	234.03	369	499	608
V026	234.51	369	498	607
V030	51.40	152	206	251
V031	65.17	186	251	306
V033	76.48	202	273	332
V034	77.91	203	274	334

Tabella 8: Portate di piena dei bacini vallivi per preassegnati periodi di ritorno

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 26 di 79



6.2 Idrogrammi di piena

Le trasformazioni operate dal bacino sulle piogge dal momento in cui avviene la precipitazione al momento in cui le acque defluiscono alla sezione terminale come portate di piena dipendono da una serie di fenomeni complessi ed interagenti tra di loro per la cui valutazione sono necessari sia i parametri climatici che le caratteristiche geomorfologiche del bacino.

Una maniera per tenere conto sinteticamente della trasformazione globale operata dal bacino è considerare quest'ultimo come un tutt'uno, un sistema ad un ingresso (le precipitazioni areali) e ad un'uscita (i deflussi di piena). In tal caso la trasformazione operata dal bacino prende il nome di *risposta del sistema o funzione di trasferimento*.

Il sistema bacino può essere considerato composto da due sottosistemi: i versanti, sui quali avviene per la gran parte la trasformazione delle precipitazioni totali in piogge effettive, ed il reticolo idrografico dove l'onda di piena si forma e viene trasferita alla sezione terminale.

In realtà spesso il tempo di stazionamento sui versanti può non essere trascurabile. Tuttavia, data la complessità del problema, si fa in generale riferimento allo schema semplificato secondo il quale il versante agisce solo da filtro sulle intensità e sui volumi delle piogge senza modificarne l'andamento temporale. Si considera dunque come risposta del bacino quella del reticolo idrografico che richiede in ingresso le piogge nette e presenta in uscita l'idrogramma di piena.

Nell'ipotesi che il sistema idrologico bacino possa essere ritenuto lineare e stazionario, la sua risposta è caratterizzata dalla conoscenza di una distribuzione chiamata idrogramma unitario istantaneo (IUH), che rappresenta l'idrogramma in uscita dal bacino quando l'ingresso è di tipo impulsivo unitario.

In accordo con il recente sviluppo delle teorie geomorfologiche, nel Rapporto VAPI Campania (e successivamente per il bacino del Sarno nello studio idrologico redatto nell'ambito del PAI) è stata proposta come risposta unitaria istantanea (IUH) una funzione Gamma a 2 parametri, corrispondente al modello concettuale di invasi in serie di Nash e descritta dall'espressione

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 27 di 79



$$u(t) = \frac{1}{k \cdot \Gamma(n)} \cdot \left(\frac{t}{k}\right)^{n-1} \exp\left(-\frac{t}{k}\right) \quad (16)$$

in cui:

- ✓ $\Gamma(n)$ è la funzione Gamma completa;
- ✓ n è il parametro di forma della distribuzione;
- ✓ k è il parametro di scala.

Il parametro fondamentale dell'IUH è la sua media, nota come tempo di ritardo t_r , che rappresenta il ritardo medio che la rete, con la sua risposta, induce sulle precipitazioni areali.

La risposta del bacino è dunque nota se si conosce t_r e si fissa la forma della distribuzione.

Per la distribuzione descritta dalla (16) risulta

$$t_r = n \cdot k$$

e se si pone $n = 2$ si può scrivere:

$$u(t) = \frac{4}{t_r} \cdot \left(\frac{t}{t_r}\right) \exp\left(-2 \frac{t}{t_r}\right) \quad (17)$$

Definito l'IUH del bacino, l'idrogramma di piena che si genera a seguito di un dato evento pluviometrico $i(t)$ si calcola come convoluzione dall'IUH:

$$q(t) = \int_0^t i(t - \tau) \cdot u(\tau) d\tau \quad (18)$$

Volendo riprodurre gli idrogrammi eventi di piena caratteristici del bacino in esame, e caratterizzati da tempo di ritorno T , si deve fare riferimento a tutti gli eventi di pioggia di durata compresa tra 0 e ∞ e caratterizzati da intensità compatibile con la LPP del bacino.

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 28 di 79

I possibili idrogrammi di piena relativi al periodo di ritorno T sono dunque tutti quelli descritti dalla relazione:

$$q_T(t) = K_T \cdot C_f \cdot A \cdot \int_0^t K_A(d) \cdot m[i(d)] \cdot u(\tau) d\tau \quad (19)$$

dove

$$\checkmark \quad m[i(d)] = \begin{cases} \frac{m[I_0]}{\left(1 + \frac{d}{d_c}\right)^{C-D-z}} & \text{per } \tau \leq d \\ 0 & \text{per } \tau > d \end{cases}$$

✓ d è variabile tra 0 e ∞.

In particolare, per ottenere l'idrogramma caratterizzato da portata al picco pari a quella calcolata con la formula geomorfoclimatica proposta nel Rapporto VAPI Campania e nello studio idrologico del PAI si dovrà fare riferimento ad un evento pluviometrico di durata t_c (pari alla durata critica del bacino, da individuare attraverso un criterio estremante) e intensità costante $m[I(t_c)]$.

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 29 di 79



7. Analisi idraulica

Lo studio idraulico è stato finalizzato a definire le condizioni di inondazione più gravose per l'area oggetto di studio in riferimento ad eventi di piena con periodo di ritorno centennale ed in corrispondenza delle portate e dei volumi di piena che realmente possono affluire al tratto oggetto di studio in considerazione della reale capacità idraulica del corso d'acqua nei tratti di monte.

A tal fine, si è dunque provveduto:

- Ad integrare i rilievi lidar e topografici forniti dall'Autorità di Bacino attraverso un'apposita campagna di rilievi topografici per caratterizzare la geometria del corso d'acqua e delle aree ad esso limitrofe;
- a definire la capacità idraulica dei tratti oggetto di studio e di quelli immediatamente a monte;
- a definire gli *eventi di progetto*, cioè quelli che, tra tutti i possibili eventi di piena centennali, risultano essere i più gravosi per i tratti oggetto di studio in termini di portata e di volume di esondazione;
- a perimetrare le aree inondabili in corrispondenza di detti eventi.
- A classificare le aree a differente pericolosità idraulica in relazione ai tiranti che si instaurano al transito delle portate di progetto.

7.1 Caratterizzazione topografica del corso d'acqua e delle aree ad esso limitrofe

La caratterizzazione del corso d'acqua e delle aree limitrofe è stata realizzata attraverso l'utilizzo di un rilievo topografico di dettaglio fornito dall'Autorità di Bacino che ha consentito di definire un numero molto alto di sezioni idrauliche sia sul fiume Sarno che sul ACN. L'area golenale latistante i corsi d'acqua è stata caratterizzata topograficamente attraverso il rilievo LIDAR sempre fornito dall'Autorità di Bacino. L'analisi dell'estensione del rilievo ha evidenziato la necessità di integrarlo in quanto esistevano delle aree

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 30 di 79



attualmente perimetrata in fascia B dall'Autorità di Bacino che non ricadevano nell'area rilevata. Si è proceduto, pertanto, ad effettuare un rilievo celerimetrico a terra di estrema precisione che ha consentito di caratterizzare topograficamente tutta l'area compresa tra la sinistra del fiume Sarno a monte della confluenza e l'area retrostante l'ACN in destra idraulica. Inoltre, al fine di verificare l'attuale condizione degli alvei in relazione al rilievo fornito, si è provveduto a rilevare anche la quota estrodozzo e la quota fondo degli attraversamenti esistenti lungo i corsi d'acqua in esame. Infine, si è provveduto a rilevare il tratto di ACN a cavallo dello sfioratori laterale che dall'ACN stesso scolma le acque nel controfosso sinistro.

Il rilievo topografico è stato effettuato utilizzando come punto di appoggio il caposaldo dell' Autorità di Bacino più prossimo all'area di intervento.

L'analisi a campione dei rilievi, comparata a quelli forniti dall'Autorità di Bacino, non ha portato a riscontrare significative differenze confermando la bontà del rilievo effettuato nel passato.

7.2 Definizione della capacità idraulica

Per definire la portata massima che può realmente affluire al tratto oggetto di studio si è proceduto a tracciare il profilo di corrente in condizioni di moto permanente ed in corrispondenza di 10 valori di portata variabili da un minimo di 10 m³/s ad un massimo di 100 m³/s. Detti profili di corrente sono stati calcolati utilizzando il codice di calcolo sviluppato dall'United States Army Corps of Enginnering (USACE), Hydrological Engineering Center (HEC) e denominato River Analysis System (RAS) e ponendo come valore del coefficiente di scabrezza 35 m^{1/3}s⁻¹ che maggiormente si addice alle attuali condizioni dell'alveo.

I calcoli idraulici sono stati sviluppati lungo i seguenti tratti:

1. Fiume Sarno tra il Ponte ferroviario Sarno – Napoli – sezione n. 1 rilievo AdB e la sezione 140 sul fiume Sarno a valle della confluenza posta a circa 1.50 Km dalla confluenza stessa.

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 31 di 79

2. Fiume ACN immediatamente a valle della vasca Cicalesì – sezione 570 rilievo AdB e la sezione 140 sul fiume Sarno a valle della confluenza posta a circa 1.50 Km dalla confluenza stessa.
3. Fiume Sarno tra il Ponte ferroviario Sarno – Napoli – sezione n. 1 rilievo AdB e la confluenza con l'ACN.

Per la definizione delle caratteristiche della corrente si è scelto di effettuare il calcolo idraulico per tratti significativamente più estesi di quello di interesse in modo tale da rendere influenti le condizioni al contorno di monte e di valle imposte per la simulazione. La terza simulazione, quella relativa al solo Sarno nel tratto di monte è stata realizzata al solo fine di verificare i risultati ottenuti con la prima simulazione. L'esame dei risultati ha evidenziato che non ci sono modifiche tra la simulazione n. 1 e la n. 3.

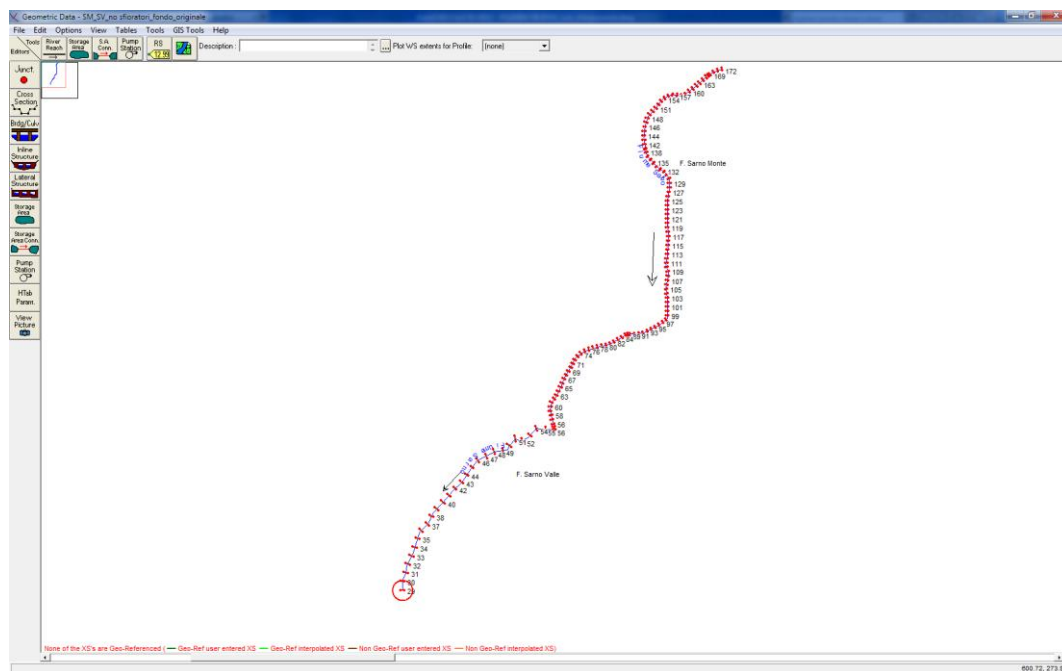


Figura 3: Schematizzazione idraulica fiume Sarno nel tratto di interesse – Tratto Sarno

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 32 di 79

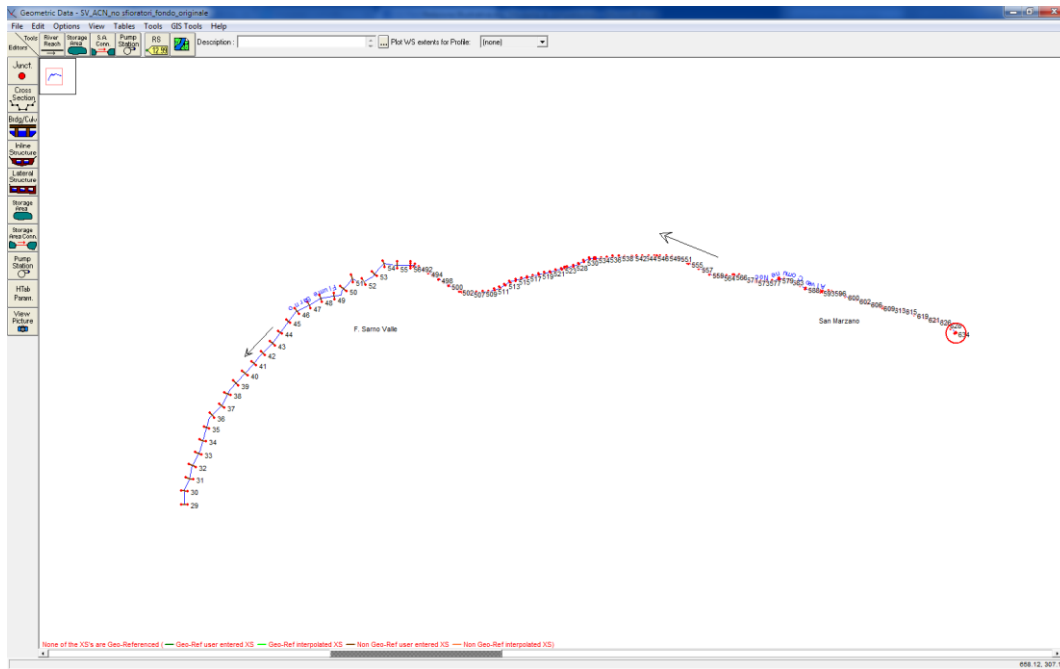


Figura 4: Schematizzazione idraulica fiume Sarno nel tratto di interesse – Tratto ACN – Sarno valle

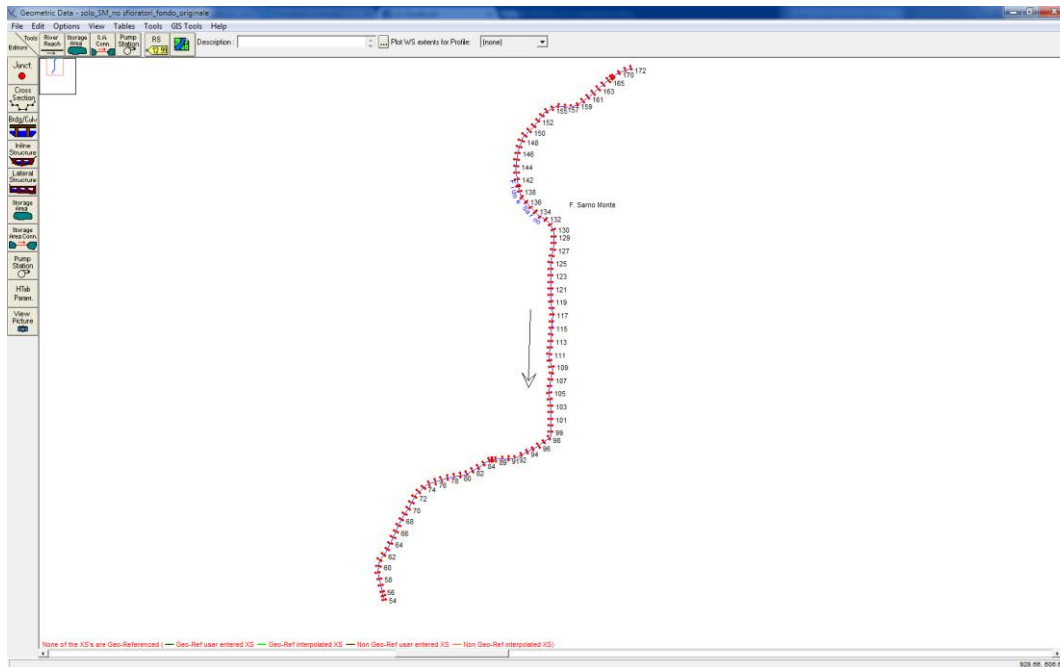


Figura 5: Schematizzazione idraulica fiume Sarno nel tratto a monte della confluenza

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 33 di 79



L'analisi dei risultati, riportata per esteso nell'allegato alla presente relazione evidenzia:

- **Fiume Sarno nel tratto a monte della confluenza.** La capacità idraulica nel tratto a monte di quello arginato rimane sempre molto bassa rispetto alle portate idrologiche (30 – 40 m³/s) a meno della sezione del rilevato ferroviario SARNO – NAPOLI dove la portata massima transitabile è pari a circa 80 m³/s. Nelle sezioni immediatamente a monte del tratto arginato, che va dalla confluenza con il canale San Mauro e la confluenza, la capacità idraulica è molto bassa, mediamente 20 m³/s. Nel tratto arginato la capacità idraulica media è pari a 70 m³/s.
- **Fiume ACN.** L'alveo Comune Nocerino mantiene una capacità idraulica abbastanza elevata lungo l'intero corso d'acqua a meno di alcune situazione maggiormente critiche poste immediatamente a valle della vasca stessa dove la capacità si riduce sensibilmente.

7.3 Definizione degli eventi di progetto

L'analisi idraulica dei fenomeni di esondazione che si verificano lungo il tratto di interesse è stata effettuata facendo riferimento ad un modello di moto vario, ed in particolare utilizzando il codice di calcolo sviluppato dall'United States Army Corps of Engineering. (USACE), Hydrological Engineering Center (HEC) e denominato River Analysis System (RAS).

Per quanto riguarda gli idrogrammi di piena, definiti come descritto al paragrafo 3, sono stati presi a riferimento unicamente quelli compatibili con la reale capacità idraulica dei tratti di monte, valutata nella condizione attuale.

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 34 di 79



7.3.1 Alveo Comune Nocerino

Come anticipato, a monte del tratto dell'ACN di interesse è ubicata la Vasca Cicalesì il cui funzionamento, in linea, è il seguente: Portata massima in arrivo da monte pari a 100 m³/s. Lo sfioro in vasca comincia per portate superiori ai 70 m³/s in quanto valori inferiori procedono indisturbati verso valle. La luce di fondo ha larghezza 1.8 metri ed altezza 1.0 metri e lo stramazzo è posto a 4.5 metri rispetto al fondo vasca ed è lungo 25 metri. La dimensione della vasca è pari a 78.000 m² (attuale più ampliamento previsto) ed il massimo invaso è di 325.791 m³ a cui corrisponde una massima altezza in vasca di 4.18 m ed una portata in uscita, sotto battente, di 8.87 m³/s.

Il totale a valle risulta così di 78.87 m³/s pari a circa 80 m³/s, che corrisponde all'efficienza idraulica di progetto per l'ACN.

Al fine di definire il massimo volume di esondazione si è proceduto, attraverso un criterio estremante a calcolare gli idrogrammi centennali relativi a piogge di durata d da 1 fino a 60 ore. I risultati sono riportati nella figura che segue.

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 35 di 79

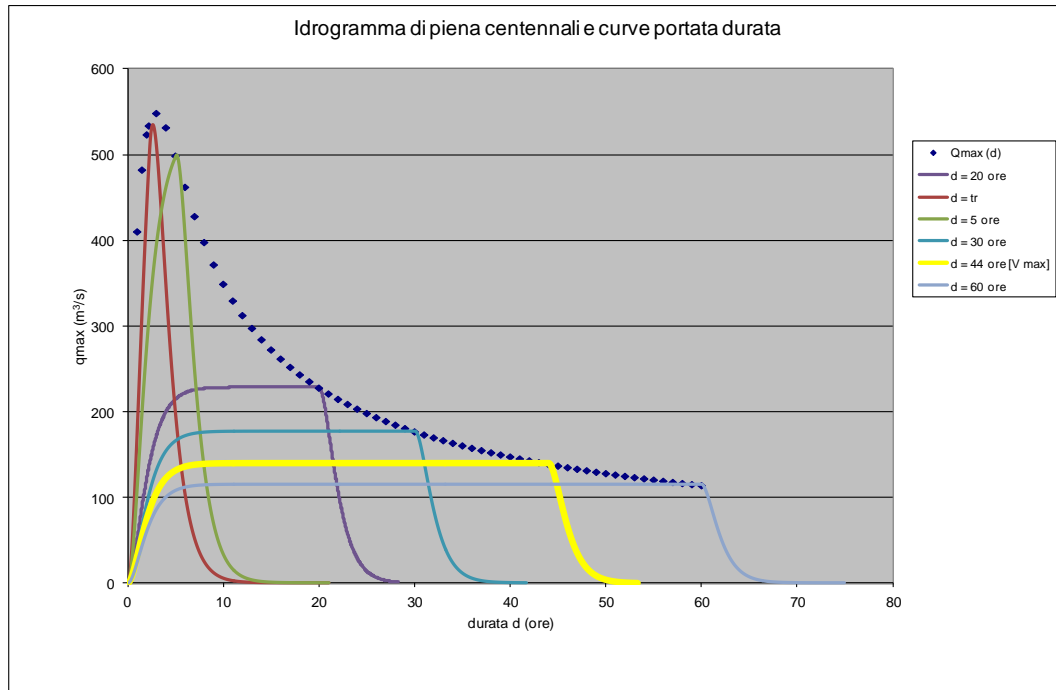


Figura 6: Idrogramma di piena centennali e curve durata portata per il bacino V024 Alveo Comune Nocerino a monte della vasca Cicalesì

Si è ottenuto che l'idrogramma con il volume massimo è pari a quello con durata $d = 44$ ore, picco di piena pari a $139.61 \text{ m}^3/\text{s}$ e volume massimo pari a $22.036.302 \text{ m}^3$.

Ovviamente tale idrogramma è stato tagliato rispetto alla massima capacità in uscita dalla vasca così come precedentemente descritta.

A vantaggio di sicurezza si è ritenuto di incrementare ulteriormente di un 10% il picco di piena in input al modello di moto vario a causa delle immissioni autorizzate e non presenti lungo il tratto che va dalla Vasca Cicalesì fino all'inizio del tratto di interesse. In tal modo l'idrogramma che massimizza il volume di esondazione di progetto è risultato essere il seguente:

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 36 di 79

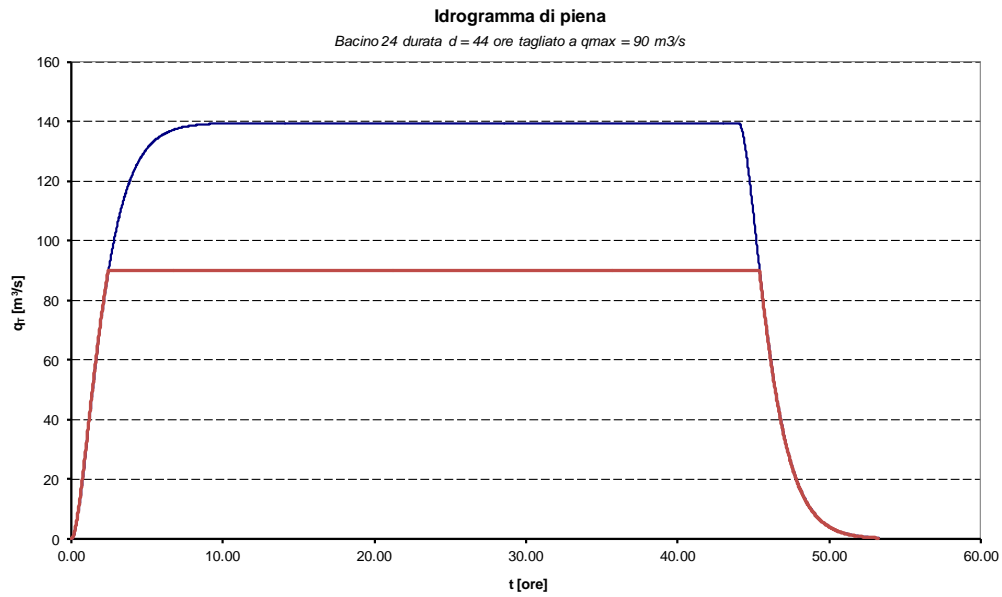


Figura 7: Idrogramma di piena Bacino sez. 24 tagliato rispetto alla massima capacità in uscita dalla vasca Cicalesì

2013		STUDIO IDRAULICO FINALIZZATO ALLA RICLASSIFICAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 37 di 79

7.3.2 Fiume Sarno a monte della confluenza con l'ACN

Anche in questo caso si è provveduto a definire il massimo volume di esondazione attraverso un criterio estremante calcolando gli idrogrammi centennali relativi a piogge di durata d da 1 fino a 60 ore. Si è ottenuto che l'idrogramma con il volume massimo è pari a quello con durata $d = 46$ ore, picco di piena pari a $37.84 \text{ m}^3/\text{s}$ e volume massimo pari a $6.351.568 \text{ m}^3$.

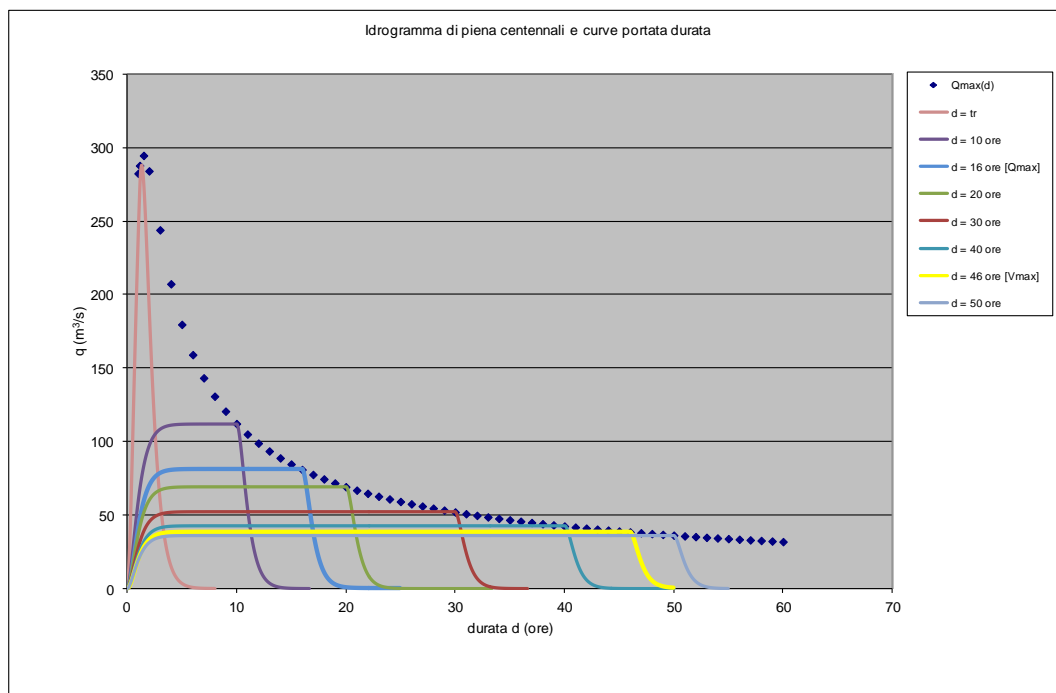


Figura 8: Idrogramma di piena centennali e curve durata portata per il bacino V034 Fiume Sarno a monte della confluenza con l'ACN

Anche in questo caso, così come già fatto per l'ACN si è proceduto ad individuare un limite fisico posto lungo il fiume Sarno che portasse a limitare il picco di piena in quanto la rete idrografica non è assolutamente in grado di smaltire la portata idrologica di calcolo e non si può che effettuare considerazioni idrologiche ed idrauliche simultanee finalizzate a simulare il reale andamento dell'evoluzione del fenomeno idraulico. Nel caso specifico il limite fisico invalicabile è rappresentato dal rilevato ferroviario Sarno – Napoli la cui barriera

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 38 di 79



artificiale porta ad accumulare a monte tutti volumi di piena che dovessero esondare lasciando transitare verso valle solo la massima capacità della sezione d'attraversamento. Come è possibile evidenziare dalle tabelle allegate, la massima portata che può transitare al di sotto del rilevato ferroviario è pari a 80 m³/s.

Al fine di poter tenere in conto nella modellazione idraulica il contributo all'idrogramma di piena portato dall'interbacino presente tra la sezione idrologica n° 30 a valle della confluenza con Rio Foce e la sezione n° 31 a monte della confluenza con il Fosso Imperatore e del contributo dello stesso Fosso Imperatore e del canale san Mauro, si è optato per utilizzare l'idrogramma di piena della sezione n° 34, posta a monte della confluenza con l'Alveo Comune Nocerino, tagliando il picco alla portata massima a 80 m³/s. In questo modo si è tenuto in conto, correttamente, del volume di contribuzione e non dell'aumento di picco di portata nel tratto. Tale considerazione è ampiamente giustificata dalla circostanza che, vista la conformazione pianeggiante delle aree in esame e del fitto reticolo di canali di drenaggio, la pioggia efficace che viene considerata al fine della formazione della portata idrologica associata ai vari tempi di ritorno, non riesce a raggiungere il fiume Sarno andandosi ad invasare innanzitutto nella rete di canali presenti e successivamente inondando le aree limitrofe. Pertanto tali aree fungono da invaso di laminazione naturale i cui volumi di esondazione contribuiscono alla piena solo dopo il passaggio del picco di portata.

Pertanto il contributo laterale della piana afferente direttamente il fiume Sarno e dei canali laterali (Fosso Imperatore e canale san Mauro in primis) contribuendo in un secondo momento rispetto al transito del picco di piena, possono solo determinare un aumento all'idrogramma di piena in termini volumetrici. Ed è per questo motivo, si ripete, che si è ritenuto di considerare come idrogramma di piena di calcolo quello relativo alla sezione di chiusura del fiume Sarno a monte dell'ACN in modo tale da considerare il contributo all'idrogramma sia del Canale san Mauro che del Fosso Imperatore.

Alla luce del criterio estremante utilizzato per il calcolo dell'idrogramma che massimizza la piena si è constatato che sono compatibili con il sistema idrografico nel tratto di interesse gli idrogrammi di durata compresa tra $d = 16$ ore (massimo picco di portata) e $d = 46$ ore (massimo volume di piena). In linea teorica ognuno di questi eventi di

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 39 di 79



progetto potrebbe dare un diverso contributo all'inondazione della piana limitrofa al fiume Sarno. Praticamente però è necessario considerare l'effettivo volume di esondazione che può interessare l'area in quanto sarebbe troppo gravoso, vista la forma e la durata degli idrogrammi, considerare anche il volume di piena che il corso d'acqua mantiene in alveo che, ovviamente, non va ad interessare le aree limitrofe al corso d'acqua stesso.

Come è possibile notare dalle tabelle allegate, la massima capacità del tratto a monte di quello arginato è mediamente pari a 20 m³/s e, quindi, tutti gli idrogrammi di progetto sono stati epurati di tale aliquota volumetrica. In sintesi, come testimonia la tabella seguente, il volume che esonda oltre la capacità dell'alveo è pari a circa 3.400.000 m³ a prescindere dalla durata e dal picco di portata. Se ne desume che l'idrogramma di progetto, non può che essere quello con il picco di piena massimo $Q = 80.89 \text{ m}^3/\text{s}$ e pari alla durata $d = 16 \text{ ore}$.

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 40 di 79



d	q _{max}	V _{tot}	V _{tot-cut}
ore	[m ³ /s]	[m ³]	[m ³]
16	80.89	4663996	3371480
17	77.53	4749405	3387763
18	74.49	4831190	3400260
19	71.72	4909672	3409336
20	69.18	4985094	3415303
21	66.85	5057825	3418432
22	64.70	5128058	3418964
23	62.71	5195943	3417094
24	60.86	5261584	3413012
25	59.13	5325470	3406870
26	57.52	5387264	3398818
27	56.01	5447392	3388979
28	54.59	5506070	3377468
29	53.26	5563075	3364391
30	52.00	5618763	3349841
31	50.81	5672971	3333904
32	49.68	5725885	3316658
33	48.61	5777658	3298172
34	47.59	5828381	3278511
35	46.63	5877917	3257736
36	45.71	5926544	3235902
37	44.83	5974172	3213060
38	43.99	6020717	3189258
39	43.19	6066654	3164540
40	42.42	6111633	3138947
41	41.69	6155387	3112517
42	40.98	6199012	3085284
43	40.30	6241154	3057282
44	39.65	6282601	3028541
45	39.03	6321279	2999090
46	38.42	6351568	2968958

Tabella 9: Idrogrammi di piena considerati

Si è pertanto preso in considerazione come idrogramma di progetto per una prima simulazione idraulica l'idrogramma di piena che segue.

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 41 di 79

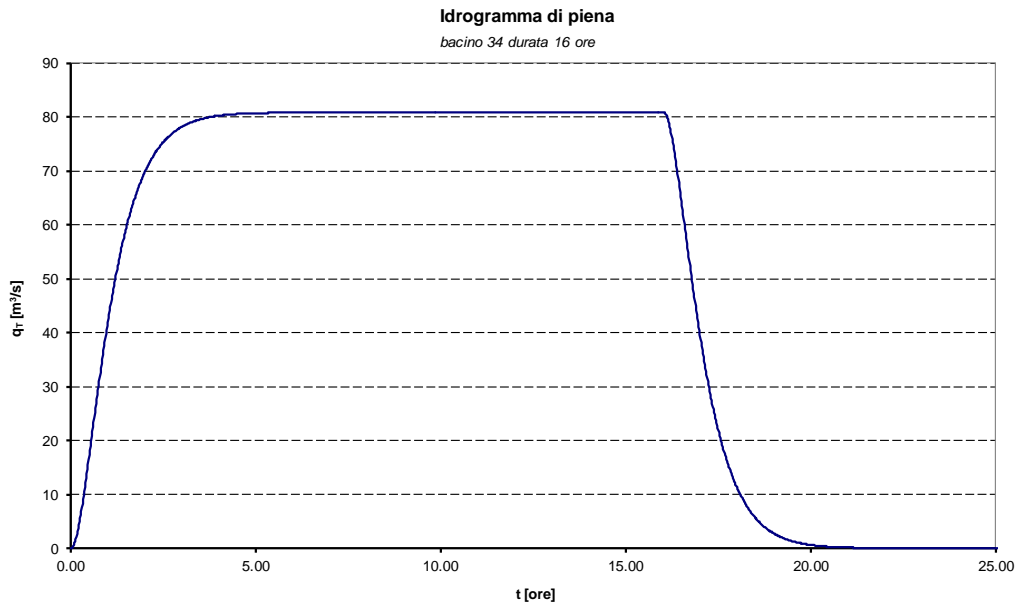


Figura 9: Idrogramma di piena Bacino sez. 34 tagliato rispetto alla massima capacità dell'attraversamento ferroviario Sarno - Napoli

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 42 di 79

D'altronde si è ritenuto opportuno considerare, come secondo evento di progetto, l'idrogramma calcolato nel PAI con picco di piena pari al tempo di ritardo t_r . Anche in questo caso si è provveduto a tagliare il picco alla massima capacità che può transitare al ponte della ferrovia Sarno – Napoli. Tale simulazione ha verificato l'effetto di quegli eventi di minore durata ma che raggiungono molto rapidamente il picco di portata massimo mettendo più velocemente in crisi le sezioni idrauliche insufficienti.

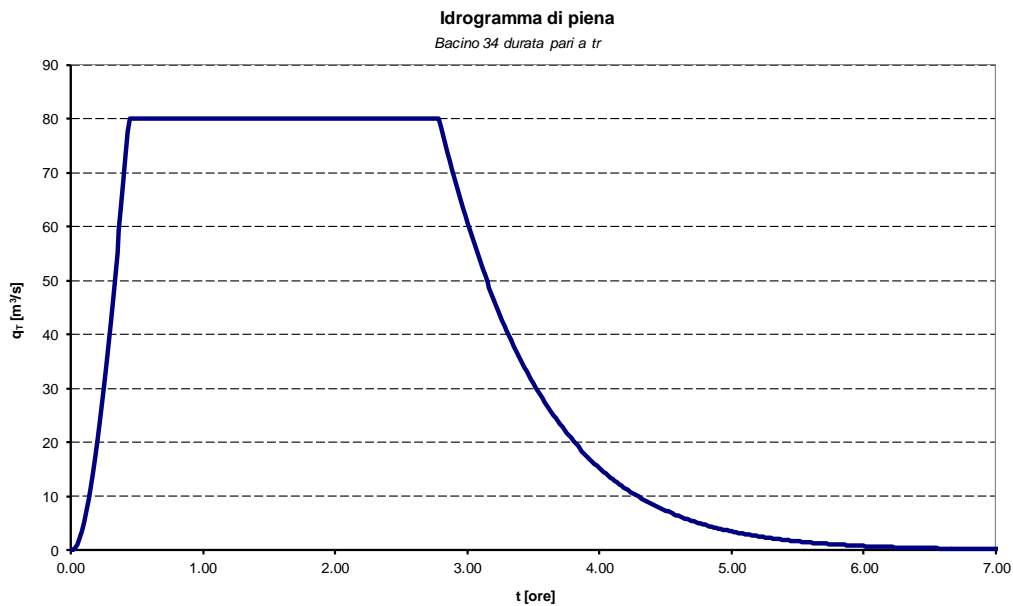


Figura 10: Idrogramma di piena Bacino sez. 34 PAI tagliato rispetto alla massima capacità in uscita dalla vasca Cicalesì

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 43 di 79



8. Modello idraulico adottato per la verifica idraulica in moto vario monodirezionale

Al fine di verificare le caratteristiche della corrente al transito delle portate di piena di riferimento si è ritenuto opportuno fare riferimento ad un modello idraulico di moto vario monodimensionale.

Tale modellazione si è articolata 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 e per la valutazione delle caratteristiche idrauliche di tale corrente in corrispondenza delle portate stimate dallo studio idrologico;
3. definizione delle sezioni insufficienti al transito della portata di progetto e calcolo degli idrogrammi sfiorati da utilizzare per la definizione delle aree inondabili e delle fasce fluviali per l'area di interesse attraverso l'adozione di un modello in moto vario bidimensionale.

Nei paragrafi che seguono saranno dettagliati i punti precedentemente indicati tenendo conto che caratterizzazione geometrica del corso d'acqua e delle aree limitrofe è stata già precedentemente trattata.

Come anticipato non si è effettuata la verifica in moto vario del fiume Sarno a monte della confluenza in quanto la particolare caratterizzazione geometrica (alveo incassato a monte ed alveo pensile dalla confluenza con il canale San Mauro fino alla confluenza) rende inutile la definizione degli idrogrammi sfiorati lungo il tratto in quanto l'esondazione avviene tutta nel tratto incassato a monte di quello arginato che risulta assolutamente insufficiente al transito degli idrogrammi di progetto. Tale fenomenologia è valutabile in maniera più corretta attraverso la simulazione diretta in moto vario bidimensionale.

8.1 Verifica idraulica

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 44 di 79



La scelta del modello 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.

Si è ritenuto opportuno fare riferimento al modello di moto vario monodimensionale implementato nel codice di calcolo sviluppato dall'United States Army Corps of Engineering (USACE), Hydrological Engineering Center (HEC) e denominato River Analysis System (RAS) in quanto già utilizzato per la redazione del PSAI.

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.

L'utilizzo di HEC-RAS ha consentito di determinare, sezione per sezione e in corrispondenza delle portate di piena di progetto, le caratteristiche della corrente: livello idrico, condizioni di moto, diagramma delle velocità, velocità media, idrogramma di piena esondato,

Come già anticipato per la verifica della capacità idraulica dei tratti, i calcoli idraulici sono stati sviluppati lungo i seguenti tratti:

1. Fiume Sarno tra il Ponte ferroviario Sarno – Napoli – sezione n. 1 rilievo AdB e la confluenza con l'ACN.
2. Fiume Sarno tra la confluenza tra confluenza con l'ACN e la sezione 140 sul fiume Sarno posta a circa 1.50 Km dalla confluenza stessa.
3. Alveo Comune Nocerino immediatamente a valle della vasca Cicalesì – sezione 570 rilievo AdB e la confluenza.

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 45 di 79

Per la definizione delle caratteristiche della corrente si è scelto di effettuare il calcolo idraulico per tratti significativamente più estesi di quello di interesse in modo tale da rendere influenti le condizioni al contorno di monte e di valle imposte per la simulazione.

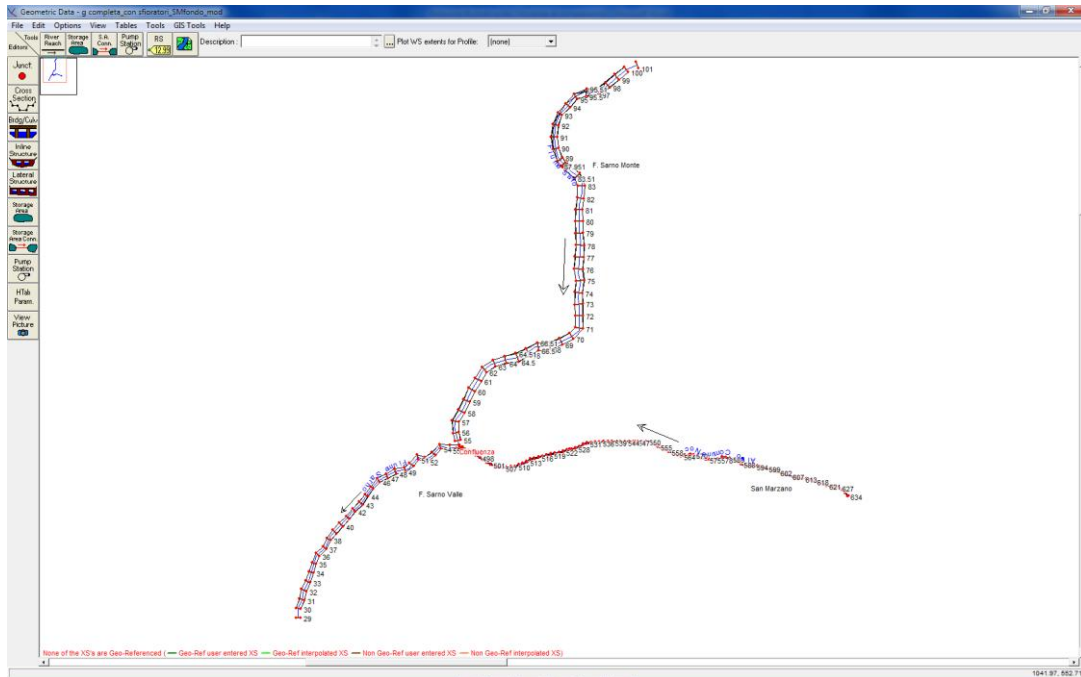


Figura 11: Schematizzazione idraulica fiume Sarno nel tratto di interesse – Tratto Sarno

8.1.1 Risultati

8.1.1.1 Alveo Comune Nocero

Dalle verifiche idrauliche effettuate si evince che il tratto in esame risulta incapace a contenere le portate di piena centennali già nel tratto immediatamente a valle della vasca Cicalesì. Dal punto di vista strettamente idraulico, le esondazioni che avvengono possono essere sconnesse dal moto in alveo in quanto l'argine esistente impedisce il rientro in alveo.

Nella tabella che segue sono indicate le sezioni insufficienti per ogni portata di progetto mentre i risultati in forma grafica sono riportati in allegato.

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 46 di 79



N	N_HEC	Esondazione	
		Riferimento planimetrico	Riferimento HEC-RAS
570 Valle	630		X
571	629	X	X
572	628	X	X
576 Valle	623	X	X
577	622	X	X
578	621	X	X
579	620	X	X
589	608	X	X
590	607	X	X
592 Valle	604		X
593	603		X
594	602		X
Fittizia 598 Ponte Valle	597	X	
599 Valle	596	X	
600	595	X	X
601	594	X	X
602 Monte	593	X	X
Fittizia 602 Ponte Valle	592	X	X
603 Valle	591	X	X
604	590	X	X
605	589	X	X
613 Valle	579	X	
614	578	X	
667	516		X
668	515		X
Fittizia 677 A	505	X	
Fittizia 677 B Monte	504	X	
Fittizia 677 B Valle	504	X	

Tabella 10: Sezioni insufficienti al transito delle portate di piena di progetto

Gli idrogrammi di piena sfiorati, sezione per sezione, sono stati utilizzati come input per la modellazione idraulica in moto vario bidimensionale delle aree retroarginali.

È evidente che le simulazioni idrauliche effettuate non tengono conto dello stato di manutenzione e di tenuta degli argini e fanno riferimento alla data di realizzazione del rilievo topografico.

8.1.1.2 Fiume Sarno a monte della confluenza

Come già anticipato, la modellazione idraulica in moto vario ha evidenziato che l'intera esondazione avviene immediatamente a monte del tratto arginato in quanto l'alveo risulta incassato e con una capacità del tratto pari a circa 20 m³/s, assolutamente incompatibile con l'idrogramma idrologico-idraulico di progetto. Ne consegue che risulta

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 47 di 79



inutile definire gli idrogrammi sfiorati lungo il tratti in quanto l'intero idrogramma di progetto posto all'inizio del tratto di simulazione contribuisce alla modellazione bidimensionale.

8.1.1.3 Fiume Sarno a valle della confluenza

I risultati evidenziano una sostanziale tenuta delle sezioni di calcolo. Il tratto in esame è stato ritenuto utile solo in relazione alla corretta applicazione del modello idraulico in quanto interessa aree non comprese nel limite comunale di San Marzano su Sarno.

9. Perimetrazione delle aree inondabili

9.1 Generalità

Per caratterizzare il moto delle portate di piena in alveo, è in genere sufficiente una descrizione di tipo monodimensionale, mentre il fenomeno di inondazione richiederebbe in genere una descrizione bidimensionale.

E' tuttavia possibile a volte utilizzare una trattazione di tipo semplificato in cui i due fenomeni vengono analizzati in momenti "successivi" ma facendo riferimento sempre ad uno schema "monodimensionale" in moto vario.

In una prima fase si determinano i livelli idrici nell'alveo con un modello monodimensionale con impedimento di esondazione (cioè con estensione verticale delle sponde della sezione), o meglio, utilizzando sezioni opportunamente estese lateralmente (il che richiede ovviamente una conoscenza approfondita dei possibili fenomeni di piena ed una mediante una preliminare analisi della morfologia dei luoghi).

In una seconda fase si estendono le quote idriche alle aree circostanti mediante considerazioni di tipo morfologico, utilizzando come dati topografici di base le sezioni trasversali implementate nel modello idraulico e la cartografia delle aree limitrofe al corso d'acqua.

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 48 di 79



Tale procedura fornisce risultati tanto più realistici quanto più i volumi esondabili risultano una frazione modesta dell'intero volume di piena e comunque può essere ritenuta valida l'ipotesi di monodimensionalità del fenomeno.

Nel caso in esame si è preferito ricorrere alla metodologia più complessa. Si è proceduto, quindi, alla caratterizzazione del moto delle portate di piena in alveo con un modello in moto vario monodimensionale che ha consentito di definire con precisione i tratti insufficienti e i volumi di esondazioni relativi. Tali informazioni sono state utilizzate come input per un modello idraulico in moto vario bidimensionale che ha consentito la perimetrazione delle aree inondabili e delle fasce fluviali per l'intera area di studio.

9.2 Dominio di integrazione, definizione dell'input e dell'output del modello

Partendo dai dati topografici (Lidar e rilievo celeri metrico integrativo), si è costruito un reticolato necessarie per il funzionamento del modello. In particolare, i punti quotati rilevati sono interpolati utilizzando un apposito modulo aggiuntivo del software FLO2D, denominato FLO2D-GDS. In tal modo si ottengono i file di descrizione del terreno adatti per FLO2D. Il dominio di integrazione così realizzato consta di 25.000 celle circa di dimensioni 15 metri x 15 metri che descrivono l'intera area di studio

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 49 di 79

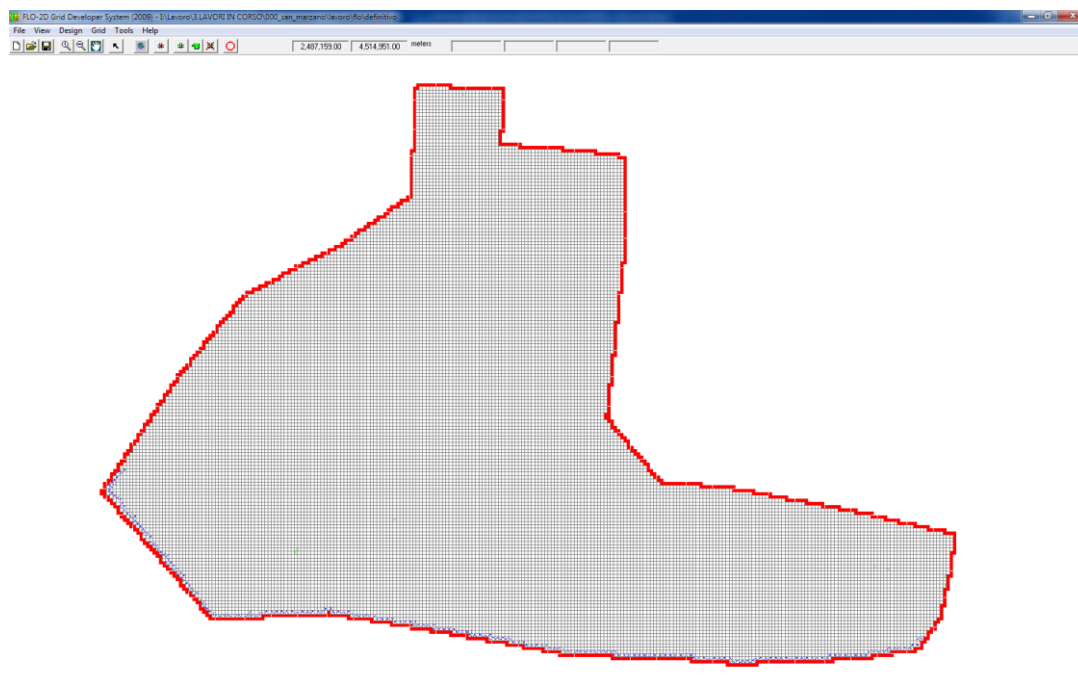


Figura 12: Schematizzazione area di studio nel modello bidimensionale utilizzato

Al dominio sono state assegnate:

1. Le celle di input del sistema dove sono stati inseriti gli idrogrammi output del modello monodimensionale in moto vario (ACN) o idrogrammi di progetto (Sarno).
2. Le celle di output del sistema.

Non è stato necessario definire le celle bloccate (il rilevato ferroviario, il corso d'acqua arginato, strade in rilevato, ...) in quanto il rilievo LIDAR utilizzato riportava già i rilevati esistenti e le singolarità principali.

9.3 Perimetrazione delle aree inondabili per l'area di studio

La perimetrazione delle aree inondabili per l'area di studio è stata effettuata con la metodologia esposta al paragrafo precedente ed i risultati sono stati ritenuti particolarmente affidabili in quanto da un lato sono stati utilizzati gli idrogrammi di piena sfiorati sul ACN e idrologici ed idraulici sul Sarno e dall'altro si è potuto modellare la morfologia dei luoghi in

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 50 di 79



maniera molto accurata grazie al rilievo LIDAR fornito dall'Autorità di Bacino integrato con il rilievo realizzato ex-novo effettuato lungo le ulteriori probabili aree di espansione della piena. Tale dettaglio ha consentito di modellare celle quadrate di dimensioni 15 metri x 15 metri

La perimetrazione delle aree inondabili è riportata nell'Allegato M.

9.4 Analisi idraulica in moto vario bidimensionale - Definizione delle aree di espansione della piena

I risultati della modellazione idraulica bidimensionale hanno evidenziato situazioni molto differenti a seconda dei due corsi d'acqua analizzati.

Nel caso dell'ACN si è potuto constatare che le esondazioni avvengono già nel tratto immediatamente a valle della vasca Cicalesì, a monte dell'area comunale, e inondano aree sia in sinistra che in destra idraulica.

In sinistra idraulica la morfologia delle aree limitrofe al corso d'acqua tende a far seguire un percorso di inondazione ortogonale al corso d'acqua allontanando le acque dalle aree di interesse. Tale fenomeno è ulteriormente accentuato da una serie di strade in rilevato che tagliano ortogonalmente l'ACN. Discorso differente avviene per le aree in destra idraulica dove l'esondazione tende, sempre grazie alla morfologia delle aree retrostanti gli argini, a seguire delle linee di flusso parallele al corso d'acqua senza comunque raggiungere, indirettamente, aree ricadenti all'interno del limite comunale di San Marzano sul Sarno.

A causa di tale conformazione topografica, e dal fenomeno di inondazione che ne deriva, si è optato per inserire come input del modello bidimensionale lungo il tratto di ACN di interesse gli idrogrammi sfiorati a partire dalla sezione topografica 604 verso valle in quanto, come appena accennato, i volumi che esondano a monte non possono arrivare, neanche in via indiretta, nelle aree ricadenti all'interno del limite comunale.

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 51 di 79

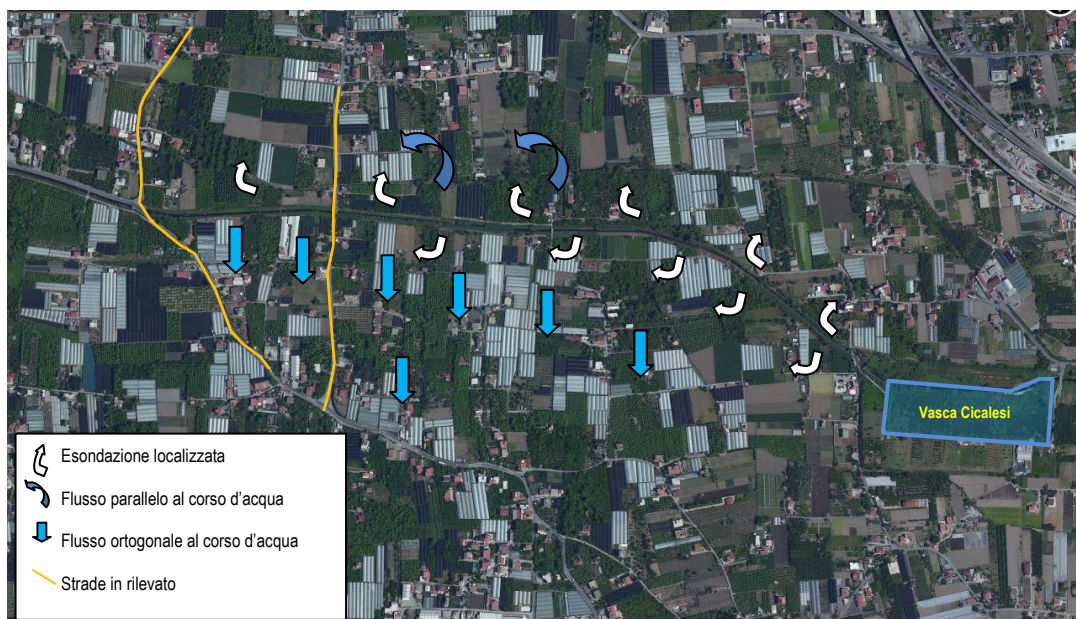


Figura 13: Schematizzazione del fenomeno di esondazione a valle della vasca Cicalesì

Per quanto concerne il fiume Sarno, la perimetrazione delle aree inondabili e delle fasce fluviali è avvenuta attraverso un modello di propagazione bidimensionale in moto vario utilizzando come input idrologico - idraulico gli idrogrammi sfiorati lungo l'ACN e l'idrogramma centennale di durata $d = 16$ ore relativo al bacino idrografico n. 34 posto sul fiume Sarno a monte della confluenza con l'ACN tagliato rispetto alla massima capacità dell'attraversamento ferroviario Sarno – Napoli.

Una seconda simulazione è stata effettuata imponendo lungo il fiume Sarno l'idrogramma calcolato nel PAI, sempre per la sezione idrologica n. 34, con picco tagliato rispetto alla massima portata smaltibile dall'attraversamento ferroviario Sarno – Napoli. Tale idrogramma ha un volume di piena circa pari alla metà di quello di durata pari a 16 ore.

La verifica tra i due risultati ha evidenziato che la perimetrazione è pressoché identica lungo tutto il fiume Sarno a meno dell'area prossima della confluenza dove il maggior volume tende ad accumularsi aumentando l'area di invasione.

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 52 di 79

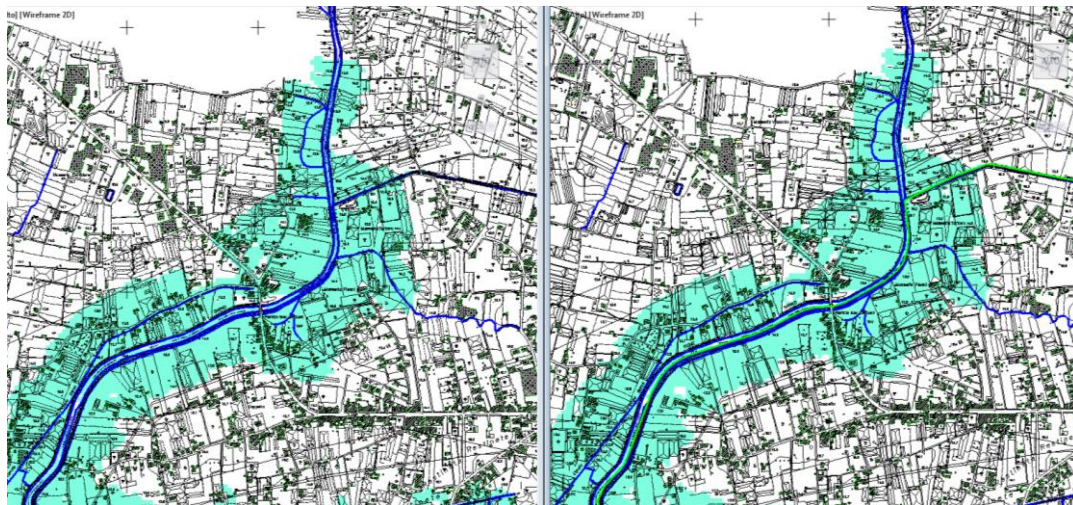


Figura 14: Confronto risultati ottenuti tra la simulazione 1 a sinistra (idrogramma $d = 16$ ore e picco $80 \text{ m}^3/\text{s}$ sul Sarno + idrogrammi sfiorati sull'ACN) e la simulazione 2 a destra (idrogramma PAI picco $80 \text{ m}^3/\text{s}$ sul Sarno + idrogrammi sfiorati sull'ACN)

Tale verifica è stata effettuata anche rispetto allo studio “Suddivisione della fascia fluviale B nelle sottofasce B1, B2, B3 individuate dal P.S.A.I. dell’Autorità di Bacino del Sarno” redatto per il comune di San Valentino Torio che, per un piccolo tratto si sovrappone al presente studio. Anche in questo caso la verifica ha evidenziato come i risultati sono pressoché identici.

Ovviamente, a vantaggio di sicurezza, è stato utilizzata la perimetrazione della simulazione 1 in quanto più cautelativa.

9.5 Definizione delle fasce fluviali

9.5.1 La regione fluviale

La regione fluviale, cioè quella costituita dalle aree interessate dai fenomeni idraulici e influenzata dalle caratteristiche naturalistiche-paesaggistiche connesse al corso d’acqua, può essere articolata nelle seguenti zone:

- alveo di piena ordinaria (Demanio Pubblico);
- alveo di piena standard;

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 53 di 79



- aree di espansione naturale della piena;
- aree ad elementi di interesse naturalistico, paesaggistico, storico, artistico e archeologico.

Alveo di piena ordinaria

Si intende per alveo di piena ordinaria quella parte della regione fluviale interessata dal deflusso idrico in condizioni di piena ordinaria (corrispondente cioè ad un periodo di ritorno di 2,5 anni). Nel caso di corsi d'acqua di pianura, l'alveo di piena ordinaria coincide con la savenella; nel caso di alvei alluvionati, esso coincide con il greto attivo, interessato dai canali effimeri in cui defluisce la piena ordinaria.

Ai sensi dell'art. 822 del Codice Civile, l'alveo di piena ordinaria appartiene al Demanio Pubblico.

Alveo di piena standard

Si definisce alveo di piena standard la parte del fondo valle riservata al libero deflusso di una piena di riferimento (piena standard). Esso non coincide con l'alveo di esondazione, cioè con l'area che viene sommersa al passaggio di una piena di riferimento, in quanto vengono escluse le aree sommerse che non contribuiscono in modo significativo al deflusso della piena perché la corrente vi assume tiranti idrici modesti e quindi velocità longitudinali trascurabili.

Il periodo di ritorno della piena di riferimento deve essere fissato tenendo conto della particolare situazione all'esame.

L'alveo di piena deve essere delimitato sulla base della morfologia del corso d'acqua e delle aree inondabili in base ad uno studio idraulico.

Nei corsi d'acqua incassati di pianura, l'alveo di piena sarà formato dalla savenella, o alveo principale, in cui viene generalmente contenuta la piena ordinaria, e dalle fasce di pertinenza nelle piane golenali.

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 54 di 79



Nei corsi d'acqua alluvionati pedemontani, l'alveo di piena viene assunto come l'intero greto attivo, in cui la corrente di piena forma alvei più o meno effimeri che possono spostarsi da una piena all'altra anche senza occupare l'intera larghezza del greto.

La definizione dell'alveo di piena rappresenta uno strumento operativo di base per la pianificazione delle aree inondabili. Nell'alveo di piena non potrà essere infatti insediata alcuna struttura trasversale che ostacoli il deflusso delle acque, ad eccezione delle opere di difesa idraulica, di utilizzo delle acque, nonché di attraversamento.

Aree di espansione naturale della piena

Le aree di espansione naturale della piena vengono incluse nelle fasce di pertinenza fluviale nel caso che esse esercitino un significativo effetto di laminazione. Ovviamente l'importanza dell'effetto di laminazione non può essere valutata per la singola area, ma occorre tenere conto dell'insieme complessivo di aree di espansione a monte del tratto fluviale di interesse.

Aree ad elementi di interesse naturalistico, paesaggistico, storico, artistico ed archeologico

Tali aree comprendono la parte della regione fluviale appartenente alle aree naturali protette (parchi e riserve naturali, nazionali e regionali) in base all'art. 2 della legge 349/91 o a leggi regionali, o ad altre aree individuate nei piani paesistici e nei piani di bacino.

9.5.2 Le fasce di pertinenza fluviale

Considerando l'importanza delle fasce fluviali per quanto attiene alla ricaduta in termini urbanistici che ne scaturisce, la loro delimitazione è stata effettuata in conformità con quanto verrà detto di seguito, ma facendo attenzione, laddove possibile, a spostare i limiti che le definiscono su limiti fisici (quali strade, scarpate, ecc.) facilmente riconoscibili in sito.

Per delimitare le fasce di pertinenza fluviale di un corso d'acqua bisogna individuare:

- l'alveo di piena del corso d'acqua definito per una piena di riferimento, definita "piena

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 55 di 79



standard”;

- le aree di espansione naturale della piena, che esercitano un significativo effetto di laminazione;
- le aree protette, di particolare valore naturalistico e ambientale.

In quanto segue, si considera come “*piena standard*” quella relativa ad un periodo di ritorno di 100 anni, e si individuano tre fasce di pertinenza fluviale.

La **Fascia A** coincide con l’alveo di piena, e assicura il libero deflusso della piena standard, di norma assunta a base del dimensionamento delle opere di difesa.

Si escludono dall’alveo di piena (fascia A) le aree in cui i tiranti idrici siano modesti, in particolare inferiori ad 1 m, garantendo nel contempo il trasporto di almeno l’80% della piena standard.

La **Fascia B** comprende le aree inondabili dalla piena standard, eventualmente contenenti al loro interno sottofasce inondabili con periodo di ritorno $T < 100$ anni. In particolare possono essere considerate tre sottofasce:

- la **sottofascia B1** è quella compresa tra l’alveo di piena e la linea più esterna tra la congiungente i punti in cui il livello d’acqua è pari a 30 cm per piene con periodo di ritorno $T=30$ anni e la congiungente i punti in cui il livello d’acqua è pari a 90 cm per piene con periodo di ritorno $T=100$ anni;
- la **sottofascia B2** è quella compresa fra il limite della Fascia B1 e la congiungente i punti in cui il livello d’acqua è pari a 30 cm per piene con periodo di ritorno $T=100$ anni;
- la **sottofascia B3** è quella compresa fra il limite della Fascia B2 e la congiungente i punti in cui il livello d’acqua è pari a 0 cm (limite delle aree inondabili) per piene con periodo di ritorno $T=100$ anni.

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 56 di 79



In tale fascia dovranno essere prese adeguate misure di salvaguardia per le aree che producono un significativo effetto di laminazione (volume di invaso non trascurabile).

La **Fascia C** è quella compresa tra il limite della sottofascia B3 e il limite delle aree inondabili in riferimento a portate relative a periodo di ritorno di 300 anni oppure alla massima piena storica registrata.

In accordo con quanto effettuato nell'ambito dell'aggiornamento del PSAI si è proceduto ad effettuare la seguente classificazione

- la fascia fluviale di tipo A/A* con tirante idrico > 1 m;
- la fascia fluviale di tipo B1/B1* con tirante idrico compreso fra 60 e 100 cm;
- la fascia fluviale di tipo B2/B2* con tirante idrico compreso fra 30 e 60 cm;
- la fascia fluviale di tipo B3/B3* con tirante idrico minore di 30 cm;

dove, al fine di fornire una rappresentazione più efficace del fenomeno di esondazione, si è scelto di introdurre una distinzione formale tra i livelli di pericolosità idraulica riconducibili al transito dei volumi esondati e quelli relativi all'accumulo degli stessi; le tradizionali fasce fluviali A, B1, B2 e B3 sono state, pertanto, integrate dalle omologhe A*, B1*, B2* e B3*; queste ultime per lo più localizzate esternamente alle perimetrazioni del vigente PSAI. In continuità con le attuali previsioni, inoltre, sono state classificate in sottofascia B3 tutte quelle aree non direttamente interessate dal transito dei volumi esondati relativi alla piena con tempo di ritorno dei 100 anni (tiranti idrici nulli) ma già ricadenti nel perimetro del PSAI e, pertanto, acquisite alla pertinenza del corso d'acqua.

9.5.3 Risultati della modellazione idraulica

Come anticipato la perimetrazione delle aree inondabili e delle fasce fluviali è avvenuta attraverso un modello di propagazione bidimensionale in moto vario utilizzando come input idrologico-idraulici gli idrogrammi sfiorati lungo l'ACN e l'idrogramma centennale di durata $d = 16$ ore relativo al bacino idrografico n. 34 posto sul fiume Sarno a monte della

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 57 di 79

confluenza con l'ACN tagliato rispetto alla massima capacità dell'attraversamento ferroviario Sarno – Napoli.

Una seconda simulazione è stata effettuata imponendo lungo il fiume Sarno l'idrogramma calcolato nel PAI, sempre per la sezione idrologica n. 34, sempre tagliato rispetto alla massima portata smaltibile dall'attraversamento ferroviario Sarno – Napoli. Tale idrogramma ha in volume di piena circa pari alla metà di quello di durata pari a 16 ore.

La verifica tra i due risultati ha evidenziato che la perimetrazione è pressoché identica lungo tutto il fiume Sarno a meno dell'area prossima della confluenza dove il maggior volume tende ad accumularsi aumentando l'area di invasione e i tiranti idrici.

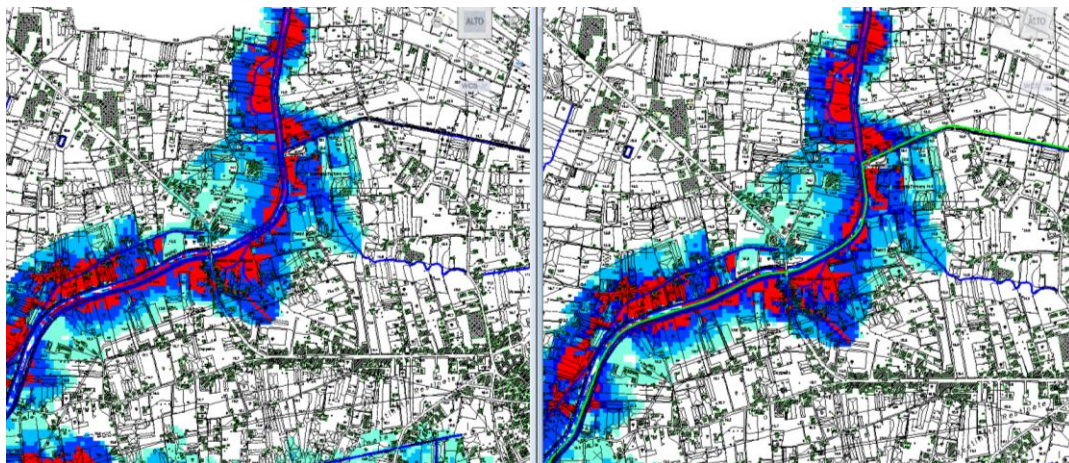


Figura 15: Confronto risultati ottenuti tra la simulazione 1 a sinistra (idrogramma $d = 16$ ore e picco $80 \text{ m}^3/\text{s}$ sul Sarno + idrogrammi sfiorati sull'ACN) e la simulazione 2 a destra (idrogramma PAI picco $80 \text{ m}^3/\text{s}$ sul Sarno + idrogrammi sfiorati sull'ACN)

Tale verifica è stata effettuata anche rispetto allo studio “Suddivisione della fascia fluviale B nelle sottofasce B1, B2, B3 individuate dal P.S.A.I. dell'Autorità di Bacino del Sarno” redatto per il comune di San Valentino Torio che, per un piccolo tratto si sovrappone al presente studio. Anche in questo caso la verifica ha evidenziato come i risultati sono pressoché identici.

Così come per le aree inondabili, a vantaggio di sicurezza, è stata utilizzata la perimetrazione della simulazione 1 in quanto più cautelativa.

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 58 di 79



9.6 Risultati dello studio idraulico

I risultati dello studio idraulico, redatto secondo l'approccio descritto nei paragrafi precedenti, sono sintetizzati in allegato alla presente relazione.

In particolare, sono riportati:

- Massima capacità dei corsi d'acqua di interesse in formato tabellare e grafico;
- profili di corrente in moto vario dei corsi d'acqua di interesse in formato tabellare e grafico;
- idrogrammi di piena caratteristici del fenomeno di esondazione dell'ACN nel tratto di interesse, ottenuti come output del software HEC-RAS, in formato tabellare e grafico;
- risultati del modello bidimensionale con indicazione delle aree inondabili in destra idraulica al torrente Solofrana nell'area di studio (Allegato M);
- definizione della pericolosità idraulica (Fasce Fluviali) in destra idraulica al torrente Solofrana per l'area di interesse (Allegato N);

10. Conclusioni

10.1 Alevo Comune Nocerino

Dalle simulazioni effettuate si evince che l'area oggetto di studio è interessata da fenomeni di inondazione per periodi di ritorno di 100 anni e che i tiranti che si possono riscontrare, almeno per le aree limitrofe all'ACN, determinano una fascia prevalente pari alla B3. Tale risultato scaturisce, come peraltro già anticipato, dal fatto che le linee di flusso in sinistra idraulica dell'ACN sono rivolte ortogonalmente al corso d'acqua e, quindi, le aree inondabili non interessano, neanche indirettamente, il limite comunale. Discorso a parte è rappresentato dallo sfioratore che dall'ACN scolma le acque nel controfosso sinistro. La modellazione idraulica conferma la nota pericolosità dell'area determinata fondamentalmente

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 59 di 79



dall'incapacità del controfosso di smaltire le proprie portate e quelle in arrivo dall'ACN a causa della ridotta sezione utile al deflusso causata dall'interrimento che lo interessa. Tale situazione si verifica ciclicamente tant'è vero che gli interventi di ripristino della sezione, a cura dell'ente gestore dell'opera, sono molto frequenti. Tale area è da ritenersi particolarmente sensibile alle inondazioni, in termini di frequenza, nonostante il livello di fascia che ne deriva sia abbastanza basso.

10.2 Fiume Sarno

Le aree limitrofe al fiume Sarno evidenziano un parziale aggravamento della pericolosità idraulica nei pressi dell'alveo ed in particolare nell'area posta immediatamente a monte della confluenza che, come il rilievo ha evidenziato, risulta depressa altimetricamente rispetto alle aree circostanti. La rimanente parte del territorio vede una migliore definizione delle fasce fluviali in funzione dei tiranti idrici calcolati con una sostanziale diminuzione della pericolosità in quanto dalla fascia B (equivalente alla fascia B1 in termini di normativa da applicare) si sono ottenute aree molto estese a fascia B2 e B3 dove la normativa di attuazione del Piano è meno restrittiva in termini di uso del suolo..

11. Elenco Elaborati

	Elaborato	Scala
A	Inquadramento geografico	1:25.000
B	Reticolo idrografico	1:25.000
C	Sezioni di chiusura bacini idrografici di riferimento	1:25.000
D	Inquadramento area di interesse con indicazione dell'area di studio	1:10.000
E	Inquadramento PAI – Pericolosità idraulica	1:5.000
F	Inquadramento PAI – Rischio idraulico	1:5.000

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 60 di 79



	Elaborato	Scala
G	Rilievo plano-altimetrico area di studio	1:4000
H	Rilievo plano-altimetrico alveo ACN nel tratto a cavallo dello sfioratore di piena verso il controfosso sinistro	1:500
I	Relazione esplicativa rilievi topografici asseverata	/
L	Documentazione fotografica	/
M	Planimetria aree inondabili T = 100 anni	/
N	Proposta di Pericolosità idraulica	1:5.000
O	Relazione illustrativa	/
P	Allegati alla relazione illustrativa	/

12. Elenco figure e tabelle

<i>Figura 1: Area di studio - ortofotopiano</i>	4
<i>Figura 2: Inquadramento geografico</i>	6
<i>Figura 3: Schematizzazione idraulica fiume Sarno nel tratto di interesse – Tratto Sarno</i>	32
<i>Figura 4: Schematizzazione idraulica fiume Sarno nel tratto di interesse – Tratto ACN – Sarno valle</i>	33
<i>Figura 5: Schematizzazione idraulica fiume Sarno nel tratto a monte della confluenza</i>	33
<i>Figura 6: Idrogramma di piena centennali e curve durata portata per il bacino V024 Alveo Comune Nocerino a monte della vasca Cicalesì</i>	36
<i>Figura 7: Idrogramma di piena Bacino sez. 24 tagliato rispetto alla massima capacità in uscita dalla vasca Cicalesì</i>	37

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 61 di 79



Figura 8: Idrogramma di piena centennali e curve durata portata per il bacino V034 Fiume Sarno a monte della confluenza con l'ACN.....38

Figura 9: Idrogramma di piena Bacino sez. 34 tagliato rispetto alla massima capacità dell'attraversamento ferroviario Sarno - Napoli.....42

Figura 10: Idrogramma di piena Bacino sez. 34 PAI tagliato rispetto alla massima capacità in uscita dalla vasca Cicalesì.....43

Figura 11: Schematizzazione idraulica fiume Sarno nel tratto di interesse – Tratto Sarno.....46

Figura 12: Schematizzazione area di studio nel modello bidimensionale utilizzato50

Figura 13: Schematizzazione del fenomeno di esondazione a valle della vasca Cicalesì52

Figura 14: Confronto risultati ottenuti tra la simulazione 1 a sinistra (idrogramma d = 16 ore e picco 80 m³/s sul Sarno + idrogrammi sfiorati sull'ACN) e la simulazione 2 a destra (idrogramma PAI picco 80 m³/s sul Sarno + idrogrammi sfiorati sull'ACN)53

Figura 15: Confronto risultati ottenuti tra la simulazione 1 a sinistra (idrogramma d = 16 ore e picco 80 m³/s sul Sarno + idrogrammi sfiorati sull'ACN) e la simulazione 2 a destra (idrogramma PAI picco 80 m³/s sul Sarno + idrogrammi sfiorati sull'ACN)58

Tabelle

Tabella 1 – Legge regionale di crescita delle portate per la regione Campania.....11

Tabella 2: – Parametri statistici delle leggi di probabilità pluviometriche regionali per ogni area pluviometrica omogenea17

Tabella 3 – Parametri statistici delle leggi di probabilità pluviometriche regionali per ogni area pluviometrica omogenea per il bacino del fiume Sarno.....17

Tabella 4: Sezioni di chiusura di interesse.....24

Tabella 5: Caratteristiche fisiografiche dei bacini.....25

Tabella 6: Parametri ponderati delle leggi pluviometriche dei bacini vallivi.....25

Tabella 7: Medie dei massimi annuali delle portate al colmo per i bacini vallivi26

Tabella 8: Portate di piena dei bacini vallivi per preassegnati periodi di ritorno26

Tabella 9: Idrogrammi di piena considerati41

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 62 di 79



Tabella 10: Sezioni insufficienti al transito delle portate di piena di progetto47

13. Appendice 1 – Modello idraulico di moto vario

13.1 Premessa

Il modello matematico utilizzato per la valutazione delle caratteristiche della corrente idrica, quando è possibile l'ipotesi di moto permanente o moto vario, è quello implementato nel codice di calcolo *HEC-RAS (River Analysis System)* sviluppato dall'*United States Army Corps of Engineering (USACE), Hydrological Engineering Center (HEC)*.

Tale scelta è stata dettata principalmente dall'estrema affidabilità di questo codice di calcolo, attestata dalle numerosissime applicazioni effettuate mediante esso 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.

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.

Il modello descrive il moto monodimensionale (stazionario e non) di una corrente non uniforme, ma tale che, in ogni sezione, la distribuzione delle pressioni possa essere considerata, comunque, di tipo idrostatica. Il modello è, a scelta dell'operatore, a fondo fisso

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 63 di 79



o mobile, e può applicarsi senza problemi con pendenze di fondo non troppo elevate (non superiori al 10%).

Il calcolo effettuato nelle suddette ipotesi risulta sicuramente cautelativo in quanto nella realtà l'onda di piena si manifesta in moto vario con la portata al colmo persistente solo per durate dell'ordine di qualche minuto in relazione alla superficie del bacino imbrifero sotteso.

E' da osservare tuttavia che nonostante le necessarie semplificazioni effettuate il modello utilizzato risulta ancora abbastanza generale e comunque tale da portare in conto seppure mediante coefficienti globali alcune diversità che possono verificarsi nell'ambito di ciascuna sezione trasversale di calcolo tra le caratteristiche idrodinamiche della corrente.

13.2 Equazioni di base e schema risolutivo

Sotto le predette ipotesi (di moto vario non uniforme), le principali caratteristiche della corrente (livello idrico, larghezze in superficie, velocità media, ecc.) sono calcolate a partire dalle seguenti due equazioni:

a) equazione di continuità:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_1 = 0 \quad (1.)$$

b) equazione del moto

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(VQ)}{\partial x} + gA\left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f\right) = 0 \quad (2.)$$

in cui:

- A è l'area della parte della sezione idrica che partecipa attivamente al trasferimento

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 64 di 79



dell'onda di piena;

- t è il tempo;
- Q è la portata defluente;
- q_1 è la portata laterale per unità di lunghezza;
- S_f sono gli sforzi tangenziali;
- V è la velocità della corrente nella sezione;
- x è la distanza lungo il canale;
- S è l'area della parte della sezione idrica che non partecipa attivamente al trasferimento dell'onda di piena (è la parte della sezione bagnata caratterizzata da velocità di deflusso nulle o pressoché nulle, in cui l'acqua viene solo ad accumularsi).

Inoltre, in corrispondenza di particolari situazioni localizzate per le quali il moto non può, a rigore, essere considerato gradualmente variato, come avviene in corrispondenza di ponti, tombini, stramazzi, risalti idraulici ecc., vengono utilizzate o l'equazione di bilancio della quantità di moto (di applicabilità molto più generale di quella di trasformazione dell'energia sopra indicata) o relazioni di tipo empirico.

Lo schema numerico adottato dal codice di calcolo per la discretizzazione delle derivate spaziali e temporali è di tipo implicito (Preissmann a quattro punti); esso è stato ampiamente dibattuto in ambito scientifico ed è, a tutt'oggi, considerato come uno degli approcci più affidabili.

La Slope Friction è valutata, in via approssimata, mediante la formula di Manning, valida, a rigori, solo per condizioni di moto permanente ed uniforme.

$$S_f = \frac{n_M^2 \cdot Q^2}{A^2 \cdot R^{4/3}} \quad (3.)$$

dove:

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 65 di 79



- Q è la portata che defluisce nelle sezioni;
- A è l'area della sezione bagnata;
- n_M è il parametro di scabrezza di Manning;
- R è il raggio idraulico, rapporto tra l'area A e il perimetro bagnato P .

13.3 Procedura di calcolo

Come già detto in precedenza, ai fini della determinazione delle caratteristiche idrauliche della corrente (velocità, tiranti idrici, numeri di Froude, sforzi tangenziali al contorno, ecc.), le soluzioni del sistema di equazioni algebriche cui si addivene in base alla discretizzazione numerica, attraverso il metodo implicito noto come "Preissmann a quattro punti", delle equazioni di continuità e del moto, non lineari nelle incognite Q ed A , viene perseguita mediante una procedura iterativa, del tipo Newton-Raphson.

13.4 Caratterizzazione idraulica delle sezioni di calcolo

Nella procedura di calcolo per la determinazione delle caratteristiche idrauliche della corrente è necessario determinare l'area della sezione bagnata A , il perimetro bagnato P , il raggio idraulico R e la larghezza B della sezione in corrispondenza di un determinato valore della superficie libera.

Per gli alvei naturali la cui geometria non è schematizzabile con sezioni di forma semplice, per le quali le suddette funzioni presentano un'espressione analitica, è stata utilizzata la classica procedura di suddividere la sezione mediante strisce verticali, delimitate superiormente dal pelo libero (assunto costante in tutta la sezione) e inferiormente dal letto dell'alveo.

Procedendo in tal modo, indicata col pedice i la i -esima delle N sottosezioni individuate mediante la suddivisione in strisce verticali, risulta possibile valutare: l'area idrica A_i , la larghezza in superficie B_i e le altre grandezze funzioni dell'altezza idrica h .

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 66 di 79



Per il calcolo del perimetro bagnato P_i e, conseguentemente, del raggio idraulico elementare R_i , per ciascuna sottosezione, si è tenuto in conto, ovviamente, anche della presenza di eventuali pareti verticali.

L'area idrica A , la larghezza in superficie B , il perimetro bagnato P e le altre grandezze, sono quindi calcolabili come:

$$A = \sum_{i=1}^N A_i \qquad B = \sum_{i=1}^N B_i \qquad P = \sum_{i=1}^N P_i$$

13.5 Cambiamenti del regime della corrente

Le transizioni da un tipo di moto all'altro possono essere di sei tipi: da lenta a veloce; da veloce a lenta; da lenta a critica; da critica a lenta; da critica a veloce; da veloce a critica.

Il codice di calcolo *HEC-RAS* procede sempre al tracciamento di due profili, uno di corrente lenta calcolato da valle verso monte, ed uno di corrente veloce calcolato da monte verso valle.

Nel tracciamento del profilo da valle, in corrispondenza di una transizione veloce - lenta il programma di calcolo non trova soluzione all'equazione che governa il fenomeno (eq. $\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_1 = 0$) nel campo delle correnti lente. In tal caso, esso pone il tirante idrico pari a quello di stato critico in tutte le sezioni successive nelle quali la corrente rimane veloce, per poi ripartire col tracciamento del profilo di corrente lenta dalla successiva transizione lenta - veloce.

Analogamente, nel tracciamento del profilo da monte, in corrispondenza di una transizione veloce - lenta il programma di calcolo non trova soluzione all'equazione che governa il fenomeno (eq. $\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_1 = 0$) nel campo delle correnti veloci.

Analogamente al caso precedente anche in questo esso pone il tirante idrico pari a quello di stato critico in tutte le sezioni successive nelle quali la corrente rimane lenta, per poi ripartire

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 67 di 79



col tracciamento del profilo di corrente veloce dalla successiva transizione lenta - veloce.

Dall'analisi dei due profili tracciati e dei relativi profili delle spinte totali, si può determinare l'andamento del profilo di corrente. Tale analisi risulta immediata laddove la corrente rimane lenta o veloce, e in corrispondenza delle transizioni lenta - veloce, un po' più articolata in corrispondenza delle transizioni veloce - lenta. In particolare le transizioni da corrente lenta a veloce avvengono in maniera naturale attraverso il passaggio per lo stato critico. Le transizioni veloce - lenta avvengono invece attraverso la formazione di un risalto idraulico, il cui posizionamento viene effettuato dall'esame dei profili delle spinte di corrente lenta e corrente veloce. In particolare, il risalto idraulico sarà posizionato tra la sezione di monte dove la spinta di corrente veloce è maggiore di quella di corrente lenta e la sezione di valle dove la spinta di corrente lenta è maggiore di quella di corrente veloce.

13.6 Valutazione degli effetti delle pile dei ponti

Per la valutazione degli effetti di rigurgito dovuti alla presenza delle pile, e di una qualunque altra struttura in alveo, è possibile far riferimento all'approccio basato sul principio delle quantità di moto totali (equazione globale dell'equilibrio dinamico). Ciascuna struttura viene modellata attraverso la definizione di 4 sezioni:

1. una sul corso d'acqua immediatamente a monte del ponte (m);
2. una seconda sulla struttura nella parte di monte (b_m);
3. una terza sulla struttura nel lato di valle (b_v);
4. una sul corso d'acqua immediatamente a valle della struttura (v).

L'applicazione di tale principio è effettuata in tre passi successivi che nel caso di corrente supercritica diventano (per correnti subcritiche la sequenza è invertita):

1. Bilancio di quantità di moto tra la sezione di monte del corso d'acqua e quella di monte del ponte (indicata con b_m) per il calcolo di h_{b_m} nota che sia h_m ;
2. Bilancio di quantità di moto tra la sezione di monte del ponte e quella di valle (indicate rispettivamente con i pedici b_m e b_v) per il calcolo di h_{b_v} nota h_{b_m} ;
3. Bilancio di quantità di moto tra la sezione del corso d'acqua a valle (indicata con il pedice

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 68 di 79



v) e la sezione di valle del ponte (indicata con il pedice bv) per il calcolo di h_v nota la h_{bv}

Il punto 1 fornisce l'espressione:

$$\rho QV_m + \gamma A_m y_m - \rho QV_{bm} - \gamma A_{bm} y_{bm} = \gamma A_{pm} y_{pm} + \gamma \frac{C_D}{2} \left(\frac{A_{pm}}{A_m} \right) \left(\frac{Q^2}{gA_m} \right) \quad (4.)$$

dove:

- Q = portata liquida;
- V_i = velocità della corrente nella sezione;
- A_i = area idrica nella sezione;
- y_i = affondamento del baricentro nella sezione;
- γ = peso specifico dell'acqua;
- ρ = densità dell'acqua;
- A_{pm} = proiezione dell'area del pilone su una superficie ortogonale alla direzione della corrente, corrispondente al tirante idrico h_m ;
- y_{pm} = affondamento del baricentro di A_{pm} ;
- C_D = coefficiente di drag.

Per piloni di tipo circolare $C_D=1.33$.

Nell'equazione (4.) si è assunto, implicitamente, che le forze di attrito sul contorno siano trascurabili rispetto alle altre.

Il secondo membro della (4.) esprime la spinta totale esercitata dal pilone sulla corrente. Tale spinta è pari alla somma di due termini: il primo relativo alla spinta di carattere statico, il secondo relativo ad una spinta di carattere dinamico.

Il punto 2 fornisce:

$$\rho QV_{bm} + \gamma A_{bm} y_{bm} - \rho QV_{bv} - \gamma A_{bv} y_{bv} = 0 \quad (5.)$$

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 69 di 79



Il terzo punto infine

$$\rho QV_v + \gamma A_v y_v - \rho QV_{bv} - \gamma A_{bv} y_{bv} = \gamma A_{pv} y_{pv} \quad (6.)$$

dove:

- A_{pv} = proiezione dell'area del pilone su una superficie ortogonale alla direzione della corrente, corrispondente al tirante idrico h_v ;
- y_{pv} = affondamento del baricentro di A_{pv} .

Si osservi che nella (4.) è stata considerata la sola azione statica esercitata dal pilone sulla corrente.

Per correnti lente ritardate è utilizzabile la relazione di Yarnell che fornisce direttamente il dislivello idrico tra monte e valle del ponte:

$$h_m = h_v + 2K \left(K + \frac{10 V_v^2}{h_v 2g} - 0.6 \right) \left[\frac{A_{pv}}{A_v} + 15 \left(\frac{A_{pv}}{A_v} \right)^4 \right] \frac{V_v^2}{2g} \quad (7.)$$

con K parametro empirico funzione della forma della pila.

13.7 Condizioni al contorno

La determinazione delle condizioni al contorno, cioè l'assegnazione, in una determinata sezione, di un valore noto del livello idrico da cui far procedere il calcolo dei livelli incogniti risulta una dei passaggi più difficili e maggiormente affetti da incertezza nella simulazione delle correnti idriche in corsi d'acqua naturali.

Per poter eseguire una simulazione in moto vario occorre definire le condizioni al contorno (boundary conditions) sia esterne, a monte e a valle, che interne (ad esempio in corrispondenza di una immissione o di uno sfioratore laterale) in ciascun tratto dei corsi d'acqua esaminati, ed inoltre devono essere definite le condizioni iniziali (initial conditions)

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 70 di 79



della portata liquida.

13.7.1 Condizioni al contorno esterne

Nel caso del moto permanente le possibili condizioni al contorno da assegnare sono essenzialmente tre:

1. un livello idrico noto;
2. il livello di moto uniforme per l'assegnata portata e pendenza di fondo nota;
3. il livello di stato critico per l'assegnata portata.

Nel caso del moto vario le condizioni al contorno esterne che possono essere inserite, anche se non tutte sono possibili per ciascuna sezione, sono:

1. Idrogramma di piena (*Flow Hydrograph*) sia come condizione di monte che di valle;
2. Idrogramma dei livelli di piena (*Stage Hydrograph*) sia come condizione di monte che di valle;
3. Idrogramma di piena e dei livelli (*Stage and Flow Hydrograph*) sia come condizione di monte che di valle;
4. Scala di deflusso (*Rating Curve*) come condizione di valle;
5. Livello di moto uniforme (*Normal Depth*).

E' da sottolineare che quasi mai è possibile stabilire a priori il regime con cui si svolge il moto, soprattutto in corsi d'acqua naturali, dove per la estrema irregolarità della geometria si possono verificare vari cambiamenti di regime. E' necessario, quindi, assegnare sempre entrambe le condizioni al contorno, a monte e a valle, e verificare a posteriori se la condizione assegnata ha avuto o meno influenza sul profilo di corrente.

13.7.2 Condizioni al contorno interne

Per quanto riguarda le condizioni al contorno interne che possono essere assegnate sono:

1. Contributo laterale di portata concentrato (*Lateral Inflow Hydrograph*);

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 71 di 79



2. Contributo laterale di portata distribuito (*Uniform Lateral Inflow Hydrograph*)
3. Interscambio di portata con la falda freatica (*Groundwater Interflow*).

Tali condizioni al contorno consentono di tenere in conto le variazioni di portata che possono realizzarsi lungo il corso d'acqua a causa di immissioni concentrate e/o distribuite e della possibilità di influenza reciproca, sempre in termini di portate, tra corso d'acqua e falda freatica. In quest'ultimo caso è necessaria la caratterizzazione della permeabilità del terreno attraverso il coefficiente di Darcy.

13.7.3 Condizioni iniziali

Oltre alle condizioni al contorno interne ed esterne (boundary conditions) devono essere specificate anche le condizioni iniziali (initial conditions) del sistema, mediante le quali il programma avvia la simulazione in moto vario. Le condizioni iniziali sono costituite dai valori iniziali della portata liquida e dai livelli d'acqua già esistenti nel corso d'acqua o in eventuali aree di espansione presenti. Normalmente la condizione iniziale utilizzata è rappresentata da una portata costante posta nella sezione di monte del tratto interessato (*Initial flow distribution*) che il software utilizza per calcolare il profilo di corrente in moto permanente e, quindi, le condizioni iniziali di tirante idrico esistenti in ogni sezione.

13.7.4 Valutazione delle portate eventualmente sfiorate lungo il percorso

Come è noto, l'equazione di continuità esprime un bilancio tra le masse entranti ed uscenti da un tronco d'alveo di lunghezza finita Δx o infinitesimale dx .

Nell'ipotesi, senz'altro veritiera soprattutto per le correnti a pelo libero, in cui la densità del fluido possa ritenersi costante, il suddetto bilancio si può effettuare, indifferentemente, tra le masse o, come nel caso in esame, tra volumi d'acqua in ingresso ed uscita dal tronco.

In condizioni di moto vario, nel caso di portate variabili lungo il percorso, l'equazione di continuità può scriversi nella forma:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_1 = 0 \quad (8.)$$

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 72 di 79



con q_1 portata uscente per unità di lunghezza, data, nel caso di sfiori, da

$$q_1 = \mu_{Dx} \cdot \sqrt{2g} \cdot \delta_{Dx} \cdot (h - h_{sf,Dx})^{3/2} + \mu_{Sx} \cdot \sqrt{2g} \cdot \delta_{Sx} \cdot (h - h_{sf,Sx})^{3/2} \quad (9.)$$

essendo

- μ_{Dx} e μ_{Sx} , rispettivamente, i coefficienti di efflusso sulle soglie di sfioro poste in destra ed in sinistra idraulica;
- $h_{sf,Dx}$ e $h_{sf,Sx}$, rispettivamente, le altezze (riferite al fondo della sezione) delle soglie di sfioro poste in destra e in sinistra idraulica;
- δ_{Dx} e δ_{Sx} , rispettivamente, due indici di Kroneker, pari ad uno se il tirante idrico è più alto dell'altezza della soglia corrispondente e pari a zero nel caso opposto.

13.7.5 Modalità di individuazione di eventuali risalti idraulici

Il software *HEC-RAS* utilizza, parallelamente all'equazione di bilancio dell'energia, anche l'equazione di bilancio delle quantità di moto, scritta nella forma approssimata

$$\sigma \cdot \xi + \frac{Q \cdot v}{g} = \cos t \quad (10.)$$

nella quale σ è la sezione idraulica e ξ è l'affondamento del baricentro della sezione idrica.

Tale equazione viene utilizzata, più in particolare, in tutte quelle situazioni in cui il profilo di corrente è rapidamente variabile, come nei risalti idraulici o nelle confluenze, e, pertanto, non risulta più possibile applicare in modo affidabile il principio di conservazione dell'energia descritto dalla (1).

Il software utilizzato è capace, inoltre, di valutare gli effetti di vari ostacoli eventualmente presenti in alveo, come ponti, tombini, sottopassi, rilevati stradali o ferroviari ed altre strutture. Esso, pertanto, si presenta particolarmente utile nel caso in esame, anche in relazione alla necessità di simulare, in modo realistico, il comportamento idraulico dei ponti

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 73 di 79



esistenti lungo il tratto in esame, il cui effetto viene a dipendere cospicuamente dalla geometria del ponte e dalla sua inclinazione rispetto alla corrente.

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 74 di 79



14. Appendice - Modello idraulico di moto bidimensionale

14.1 Descrizione del codice di calcolo

Al fine di modellare la propagazione e l'arresto delle colate nelle aree campione è stato utilizzato un modello matematico – numerico commerciale. 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 gli edifici).

Il miscuglio viene trattato come monofasico; non di rado, infatti, a tale scopo sono state estese ai flussi detritici le formule valide per le correnti d'acqua chiara (ad esempio la formula di Chezy) con coefficienti di scabrezza opportunamente modificati. Queste relazioni non consentono, ovviamente, la corretta modellazione dei fenomeni di debris flow, soprattutto nella fase di deposito, in quanto esse non contemplano l'arresto del flusso.

Le equazioni differenziali integrate dal modello sono:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h V_x}{\partial x} + \frac{\partial h V_y}{\partial y} = 0 \quad (1.a)$$

$$S_{fx} = S_{ox} - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_x}{\partial x} - \frac{V_y}{g} \frac{\partial V_x}{\partial y} - \frac{1}{g} \frac{\partial V_x}{\partial t} \quad (1.b)$$

$$S_{fy} = S_{oy} - \frac{\partial h}{\partial y} - \frac{V_y}{g} \frac{\partial V_y}{\partial y} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_y}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V_y}{\partial t} \quad (1.c)$$

dove:

- x, y: coordinate spaziali;

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 75 di 79



- t: tempo;
- g: accelerazione di gravità;
- h: tirante;
- V_x, V_y : componenti del vettore velocità V nelle direzioni x e y ;
- S_{0x}, S_{0y} : pendenze del terreno nelle direzioni x e y ;
- S_{fx}, S_{fy} : componenti della forza resistente per unità di peso.

Come accennato in precedenza, il codice FLO2D integra le equazioni succitate mediante uno schema numerico alle differenze finite, su griglia ortogonale e non strutturata. Vale a dire che il dominio viene discretizzato mediante un reticolato a maglie rettangolari che segue, per quanto possibile, i contorni irregolari del dominio stesso.

14.2 Dati ingresso

Per l'applicazione del modello numerico sono necessarie le seguenti informazioni:

- topografia dell'area in esame;
- determinazione del comportamento reologico del materiale;
- idrogramma di piena entrante nel dominio di calcolo.

14.2.1 Dati topografici

Partendo dai dati topografici, si è costruito un reticolato necessarie per il funzionamento del modello. In particolare, i punti quotati rilevati sono interpolati utilizzando un apposito modulo aggiuntivo di FLO2D, denominato FLO2D-GDS. In tal modo si ottengono

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 76 di 79



i file di descrizione del terreno adatti per FLO2D denominati FPLAIN.DAT e CADPTS.DAT.

Un secondo file di ingresso del modello fornisce la posizione degli edifici, che nel modello possono essere trattati come ostacoli al deflusso, cioè bloccando, parzialmente o totalmente, la possibilità di defluire attraverso alcune celle. Tali dati sono contenuti nel file ARF.DAT.

Ulteriori file di ingresso permettono di introdurre la geometria di dettaglio delle situazioni particolari che possono essere presenti in alcune parti del dominio di calcolo. In particolare:

- CHAN.DAT: contiene dati inerenti al canale;
- BRIDGE.DAT: contiene informazioni sui ponti presenti lungo il canale;
- CULVERT.DAT: contiene informazioni sulle gallerie di drenaggio;
- LEVEE.DAT: contiene informazioni sugli argini;
- STREET.DAT: contiene informazioni sulle strade presenti.

14.2.2 Comportamento reologico del miscuglio

Il comportamento costitutivo di un miscuglio bifasico iperconcentrato è influenzato dalle modalità di dissipazione energetica tra le due fasi oltre a quella all'interno delle singole fasi. Oltre alla turbolenza e alla viscosità, caratteristiche del fluido interstiziale, un ruolo fondamentale è giocato dalle interazioni tra fluido e particelle e tra le particelle stesse.

E' stato recentemente mostrato tramite test reometrici che le colate di fango con alte concentrazioni di sedimenti di granulometria fina in una matrice fluida possiedono un comportamento costitutivo alla Bingham se caratterizzati da bassi valori della velocità di deformazione (minori di 0.1 s⁻¹). Per valori maggiori delle velocità di deformazione possono

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 77 di 79

insorgere gli sforzi turbolenti.

Lo sforzo tangenziale totale τ in un flusso di sedimenti iperconcentrato viene pertanto valutato come:

$$\tau = \tau_y + \eta \left(\frac{dv}{dy} \right) + C \left(\frac{dv}{dy} \right)^2$$

dove τ_y rappresenta lo sforzo tangenziale plastico indipendente dalla velocità di deformazione, η la viscosità dinamica e C un coefficiente che tiene conto delle collisioni interparticellari e della turbolenza.

Per quanto detto e in analogia col lavoro di Meyer-Peter e Muller (1948) e di Einstein (1950) la legge di resistenza viene scritta come:

$$S_f = S_y + S_v + S_{td}$$

dove:

- S_y è il termine delle resistenze che deriva dalla presenza dello sforzo plastico τ_y ed è pari a

$$S_y = \frac{\tau_y}{\gamma_m h};$$

- S_v è il termine delle resistenze che deriva dalla presenza dello sforzo viscoso ed è pari a

$$S_v = \frac{3\eta V}{\gamma_m h^2};$$

- S_{td} è il termine delle resistenze che deriva dalla presenza della turbolenza e delle collisioni intergranulari ed è pari a

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 78 di 79



$$S_{td} = \frac{n_{td}^2 V^2}{h^{4/3}}$$

con n_{td} coefficiente di Manning.

I parametri reologici e di resistenza sono contenuti nel file SED.DAT.

14.3 Routine di calcolo

Con l'ausilio dei dati in ingresso, sono risolte le equazioni (1). In particolare, i vari file contenenti le informazioni topografiche, gli idrogrammi in ingresso (FPINOUT.DAT), i parametri reologici e di resistenza, sono coordinati da un file CONT.DAT.

- Come dati in output, il programma fornisce i seguenti file principali:
- altezze idriche massime e finali sull'intero piano di inondazione (DEPFP.OUT e FINALDEP.OUT);
- altezze idriche massime sia nel canale che sul piano inondato (DEPTH.OUT);
- le velocità finali (FINALVEL.OUT);
- le massime velocità sul piano di inondazione e nel canale (VELOC.OUT);
- le massime velocità del flusso sulle strade (STVEL.OUT);
- le direzioni delle massime velocità del flusso sulle strade (VELFP.OUT);

Sono forniti ulteriori file di uscita che contengono informazioni sugli argini, canali, ecc. eventualmente presenti.

2013		RIPERIMETRAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	
Data	giugno 2013	STUDIO IDRAULICO	
Rev.	0	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Pag. 79 di 79