



CIUTAT DE L'ALGUER  
CITTA' DI ALGHERO

# COMUNE DI ALGHERO

## PROVINCIA DI SASSARI



REGIONE AUTÓNOMA DE SARDIGNA  
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

### VARIANTE AL PAI, ex art. 37 comma 3 delle NTA del PAI a seguito di Studio di Assetto idraulico e geologico del territorio comunale

ELABORATO :

#### **RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA INTEGRATIVA SULLE PORTATE PER I BACINI DEL CANALE URUNE**

REVISIONI				ALLEGATO	SCALA	
n°	MODIFICA	DATA	CTRL		CODICE	
01	Consegna	Agosto 2023	FC	A-3	NOTE	

I Professionisti incaricati :



Studio Associato  
4E-INGEGNERIA  
Dott. Ing. Fabio Cambula  
Dott. Ing. Marco Pani

Il Dirigente

Ing. Michele Fois

Ufficio del Piano Urbanistico  
Arch. Angelo Manunta  
Geom. Franco Cherchi

L'Assessore all'Urbanistica  
Dott. Emiliano Piras

Il Sindaco:

Dott. Mario Conoci

## Sommario

1	Premessa.....	2
2	Portate del P.S.F.F. ....	2
3	Codice di calcolo utilizzato.....	5
3.1.1	Descrizione generale della modellazione utilizzata.....	5
3.1.2	Equazioni del moto bidimensionale.....	6
3.1.3	Tipologie di soluzioni adottate.....	6
4	Modello idrologico distribuito.....	7
4.1	Aggiornamento del DTM disponibile.....	7
4.2	Definizione degli idrogrammi e delle portate di picco. ....	9
5	Confronto portate variante PAI Comune di Alghero - portate ponte SP44.....	12
5.1	Premessa.....	12
5.2	Sviluppo del confronto.....	13
6	Conclusioni.....	18

## 1 Premessa

Con la presente relazione idrologico-idraulica si intende illustrare le valutazioni idrologiche e idrauliche svolte per dare riscontro alle richieste dell'ADIS regionale formulata con nota del 28/06/2023 n. 6856 nel corso della Conferenza di Servizi per la realizzazione dell'intervento P.N.R.R. - OPERE DI ADEGUAMENTO DI ATTRAVERSAMENTI STRADALI ESISTENTI SULLA VIABILITA' PROVINCIALE E COMUNALE - *Intervento n.1 - Ponte SP 44 (Pod. E N. 22) sul canale Urune - Alghero / SS – CUP J11B20001610001* e inerente la differenza tra le portate assunte in sede di progetto (PSFF) e quelle considerate nel presente Studio di Assetto Idraulico in corso di approvazione da parte dell'ADIS.

Con gli approfondimenti svolti dallo scrivente, illustrati nei paragrafi seguenti, è stata dimostrata l'affidabilità della portata di piena con tempo di ritorno di 200 anni scelta a base della progettazione del ponte lungo la S.P. 44 interferente con il corso del Canale Urune, pari a 155 m<sup>3</sup>/s per il Tr 200 anni e al contempo l'idoneità ed affidabilità della stessa per gli obiettivi del presente Studio di Assetto idraulico. Con il presente aggiornamento, quindi, si propone la rivalutazione delle portate per i bacini del Canale Urune riferiti al tratto a valle del settore già oggetto di analisi e revisione con modello in moto vario con schema bidimensionale (sub-bacini da A a D), adottando le portate del PSFF per tutti i sub-bacini del Canale Urune successivi al D.

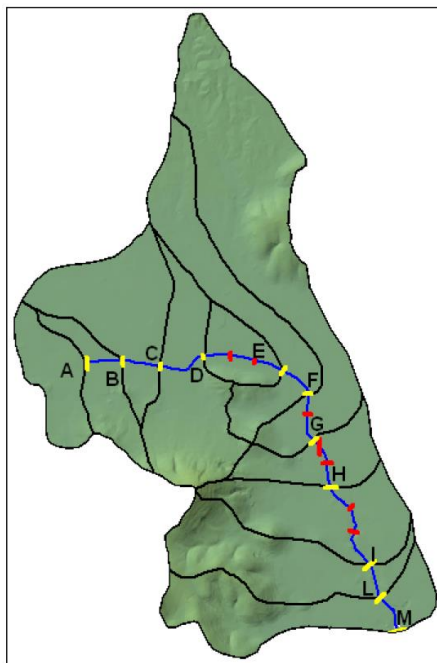
Per quanto riguarda le simulazioni per la definizione delle aree di allagamento, di pericolosità e rischio idraulico, al momento si è stabilito di utilizzare il modello 1D in moto permanente, rinviando ad un passaggio successivo l'eventuale rivisitazione delle stesse a seguito dell'impiego del modello bidimensionale in tutto il bacino del Canale Urune, considerando la disponibilità del nuovo DTM con passo 1 metro anche per l'area in esame.

## 2 Portate del P.S.F.F.

Le portate assunte sono quelle calcolate nel PSFF per i sub-bacini compresi tra E ed M, riportati nella figura seguente e con i valori riportati nelle tabelle seguenti, tratte dall'elaborato 3.06.1.1.1. Per la parte di bacino compresa tra i sub A e D sono confermate le analisi e conclusioni svolte nell'ultima revisione dello studio con moto vario e schema bidimensionale.

## COMUNE DI ALGHERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale  
**RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA INTEGRATIVA**



**Figura 1** - geometria del bacino proprio del Canale Urune individuato nel P.S.F.F. – I sub-bacini oggetto di revisione sono quelli compresi tra E ed M.

Le portate idrologiche sono invece riferite nella seguente **Tabella 1**.

**Tabella 1** - portate di picco calcolate nel PSFF

Sezione	Area [km <sup>2</sup> ]	Q(T2) [m <sup>3</sup> /s]	Q(T50) [m <sup>3</sup> /s]	Q(T100) [m <sup>3</sup> /s]	Q(T200) [m <sup>3</sup> /s]	Q(T500) [m <sup>3</sup> /s]
A	2,2	2	11	14	19	25
B	4,2	3	18	24	30	39
C	8,8	6	31	40	51	65
D	13,6	8	48	64	81	105
E	15,1	9	50	65	82	105
F	20,0	12	61	79	99	126
G	30,7	14	85	110	137	174
H	32,9	20	87	111	138	174
I	37,2	24	91	115	141	177
L	41,8	27	100	127	155	193
M	46,4	30	109	137	167	207

Nelle tabelle seguenti si riportano le grandezze idrologiche di riferimento, utilizzate nel calcolo della portata di picco all'interno del P.S.F.F.

**COMUNE DI ALGHERO (SS)**

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale

**RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA INTEGRATIVA****Tabella 2 - tempi di corrivazione nel P.S.F.F.**

Sottobacino	tc [h]
A	0.5
B	0.7
C	1.1
D	0.9
E	1.2
F	1.4
G	1.7
H	2.0
I	2.6
L	2.8
M	3.0

**Tabella 3 - Altezza di pioggia critica lorda**

Sottobacino	h(T50) [mm]	h(T100) [mm]	h(T200) [mm]	h(T500) [mm]
A	43	49	55	63
B	48	54	61	70
C	53	61	68	78
D	51	58	65	74
E	55	63	70	81
F	58	66	74	84
G	61	69	77	88
H	64	73	81	93
I	69	78	87	100
L	70	80	89	102
M	72	82	91	104

**Tabella 4 - Altezza di pioggia ragguagliata**

Sottobacino	r	hr(T50) [mm]	hr(T100) [mm]	hr(T200) [mm]	hr(T500) [mm]
A	0,94	41	46	52	60
B	0,94	45	51	57	65
C	0,93	50	57	63	73
D	0,91	46	53	59	68
E	0,92	51	58	65	74
F	0,92	53	60	67	77
G	0,91	55	63	70	80
H	0,91	58	66	74	85
I	0,92	63	72	80	91
L	0,92	64	73	82	93
M	0,92	66	75	84	95

## COMUNE DI ALGHERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale  
**RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA INTEGRATIVA**

Tabella 5 - volumi di pioggia netta per unità di superficie (effetto della permeabilità dei terreni in condizioni CNIII)

Sottobacino	$h_N(T50)$ [mm]	$h_N(T100)$ [mm]	$h_N(T200)$ [mm]	$h_N(T500)$ [mm]
A	9	12	16	21
B	11	15	19	25
C	14	18	23	29
D	12	15	20	25
E	15	19	24	31
F	15	20	25	32
G	17	22	27	35
H	19	25	30	38
I	23	29	36	44
L	24	31	37	46
M	26	32	39	49

Le verifiche sull'opportunità di utilizzare le portate del PSFF è stata effettuata attraverso lo sviluppo di un **modello matematico bidimensionale in moto vario** estesa all'intero bacino del Canale Urune con sezione di chiusura immediatamente a valle del ponte in progetto. I dettagli delle analisi svolte sono illustrati nei paragrafi che seguono.

### 3 Codice di calcolo utilizzato

#### 3.1.1 Descrizione generale della modellazione utilizzata

Per le modellazioni si è utilizzato il codice di calcolo Hecras 6.4.0 rilasciato dalla *US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center's River Analysis System*. Il modello determina, attraverso la risoluzione agli elementi finiti delle equazioni di De Saint Venant, le condizioni energetiche variabili lungo il dominio di calcolo individuando il passaggio di regime da corrente lenta a veloce e viceversa anche in relazione agli effetti locali dovuti alla presenza di opere d'arte che ne modificano la geometria.

Dal punto di vista computazionale, per le situazioni più semplici e lineari il modello si basa sulla risoluzione l'equazione dell'energia con una dimensione mentre utilizza l'equazione dei momenti in situazioni laddove si abbiano rapidi cambiamenti di quota del profilo liquido.

Le perdite di carico sono calcolate mediante l'equazione di Manning, il cui parametro può essere specificato per zone diverse del dominio di calcolo. Inoltre, il modello può individuare situazioni di non linearità, come nel caso dei risalti idraulici, o andamenti del profilo determinati dalla presenza di ponti, ostruzioni, soglie, situazioni di imbocco e sbocco da manufatti, e altre situazioni che frequentemente si presentano nei corsi d'acqua. Per andare a favore di sicurezza e quindi evitare riduzioni del picco di portata dovute all'insufficienza delle luci di attraversamento esistenti nel tratto a valle dell'opera in progetto che determinano volumi di invaso a monte dei manufatti, si è omesso

di integrare nella modellazione proprio tali manufatti, lasciando la possibilità all'acqua di defluire liberamente verso la sezione di controllo.

### 3.1.2 Equazioni del moto bidimensionale

Le equazioni di Navier-Stokes che descrivono il moto dei fluidi tridimensionali sono semplificate con le seguenti ipotesi:

- Fluido incompressibile;
- Densità uniforme e costante nel tempo;
- Pressione idrostatica uniforme e costante nel tempo;
- Equazioni di Reynolds approssimate con la viscosità di Eddy.

Inoltre è sempre considerata valida l'approssimazione secondo che lega l'altezza del terreno alle coordinate x,y e l'altezza d'acqua alle stesse coordinate e al tempo:

$$z_s(x, y, t) = z_b(x, y) + h(x, y, t)$$

Le equazioni principali utilizzate sono quelle di conservazione della massa, semplificate per fluido incompressibile

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = q$$

E quella di conservazione del momento, che in HEC-RAS viene computata in direzione ortogonale a ogni faccia della mesh bidimensionale e vettorialmente assume la forma:

$$\frac{\partial u_N}{\partial t} + (\mathbf{V} \cdot \nabla)u_N - f_c u_T = -g \frac{\partial z_s}{\partial N} + \frac{1}{h} \nabla \cdot (\mathbf{v}_t h \nabla u_N) - \frac{\tau_{b,N}}{\rho R} + \frac{\tau_{s,N}}{\rho h}$$

### 3.1.3 Tipologie di soluzioni adottate

Il solutore di HEC-RAS per la modellazione bidimensionale ammette tre diversi tipi di gruppi di equazioni che possono essere utilizzati per risolvere il moto bidimensionale al di sopra della Mesh interna al dominio:

- *Diffusion Wave Equations*
- *Shallow Water Equations, Eulerian-Lagrangian Method*
- *SWE-EM, which stands for Shallow Water Equations, Eulerian Method*

Nel presente lavoro è stata utilizzata la soluzione con le *Diffusion Wave Equations*, particolarmente indicata per valutare le risposte dei bacini idrografici a sollecitazioni idrologiche.

## **4 Modello idrologico distribuito**

Come già detto, la valutazione dell'effettiva portata di picco è stata effettuata mediante modello matematico idraulico bidimensionale con estensione pari a quella del bacino idrologico in esame e celle di calcolo pari a 5 m<sup>1</sup>. I principali passi di costruzione del modello idrologico sono stati i seguenti:

1. Aggiornamento del DTM disponibile con passo 5 metri
2. Definizione ietogrammi di sollecitazione del bacino idrografico in accordo con le linee guida P.A.I.
3. Verifica degli idrogrammi di piena restituiti dal bacino idrografico nella sezione di controllo.

### **4.1 Aggiornamento del DTM disponibile**

Il DTM per la definizione delle grandezze idrologiche e per la modellazione idrologica in bidimensionale, scaturisce dall'integrazione tra gli ultimi DTM disponibili nel Geoportale della regione Sardegna:

- Mosaico DTM 1 m "Ombre" (2022)
- DTM-DSM 1 m "Fascia costiera 2008"
- DTM-DSM 5 m "Alghero 2008"

Tra esse si può osservare la presenza del DTM "Ombre", che ha colmato le ampie lacune cartografiche presenti nel settore territoriale in esame dove ricade gran parte del bacino del Canale Urune, come da figure seguenti, e sino a poco tempo fa rappresentato esclusivamente dalla Cartografia Tecnica regionale in scala 1:10.000.

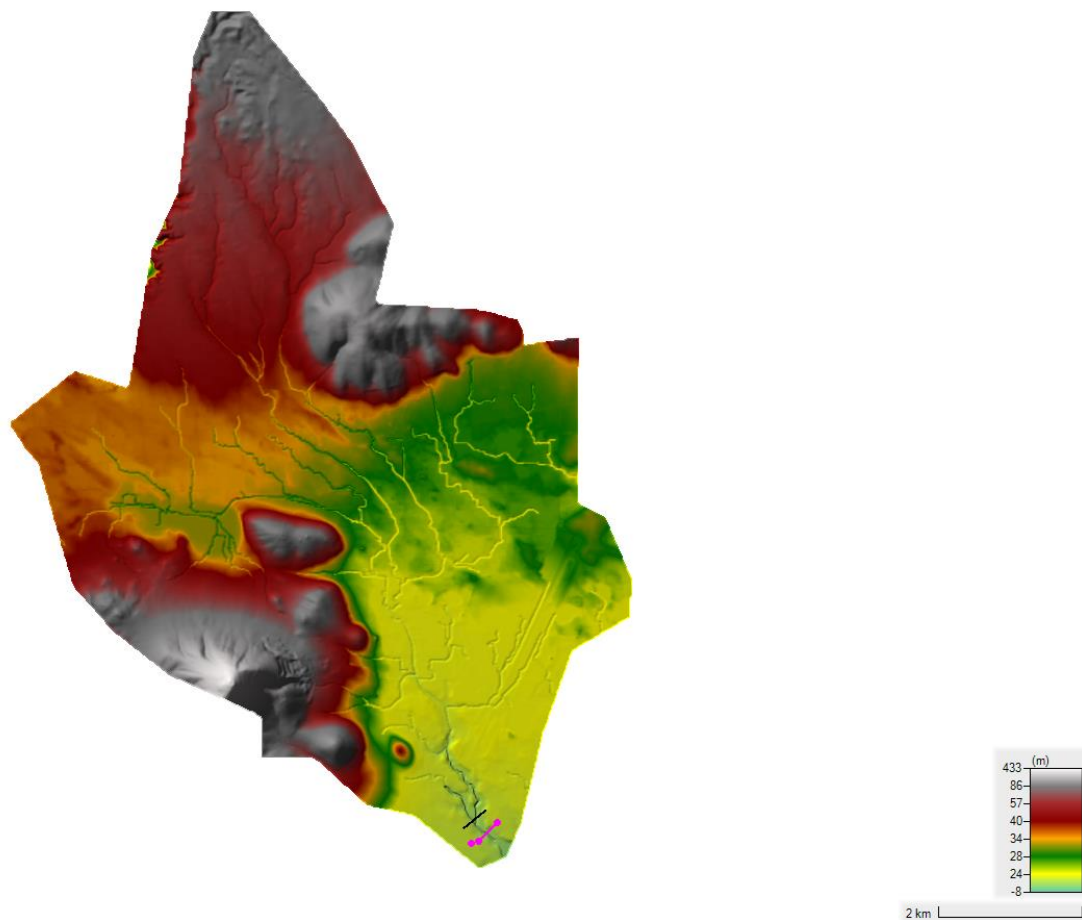
---

<sup>1</sup> Il DTM "Alghero 2008" è disponibile con precisione massima con celle pari a 5 m



**COMUNE DI ALGHERO (SS)**

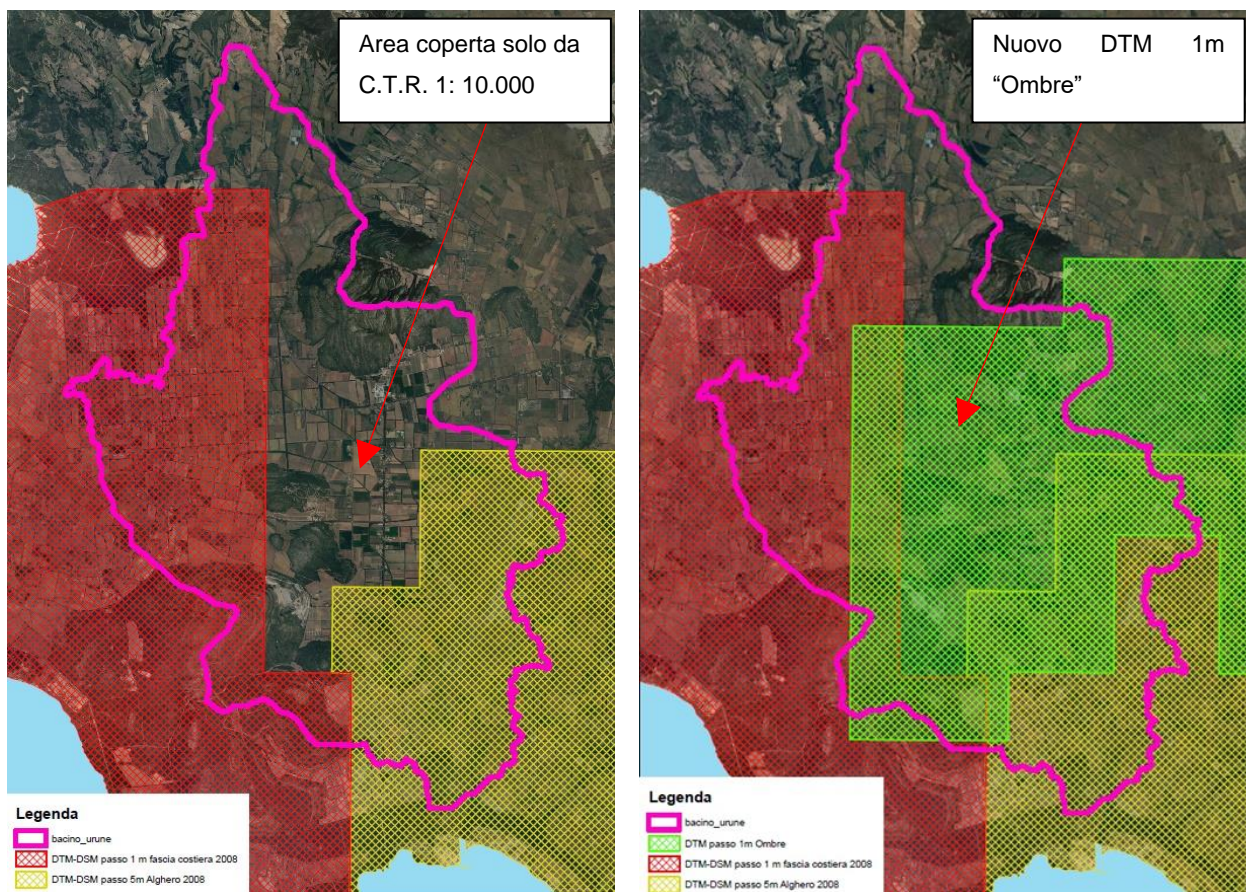
Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale  
**RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA INTEGRATIVA**



**Figura 2** – DTM con celle passo 5 metri utilizzato per la valutazione delle portate con pioggia distribuita

## COMUNE DI ALGHERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale  
**RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA INTEGRATIVA**



**Figura 3** – confronto copertura del bacino idrografico del Canale Urune con DTM-DSM

### 4.2 Definizione degli idrogrammi e delle portate di picco.

L'altezza di pioggia lorda utilizzata per la costruzione dello ietogramma e la durata della precipitazione sono indicate nella tabella seguente.

Si riportano nel dettaglio le analisi svolte per valutare la risposta del bacino idrografico ad una sollecitazione di pioggia così come previsto dal P.S.F.F. per **la sezione L del Canale Urune, dove sarà realizzato il ponte** nello specifico altezza di **pioggia lorda pari a 89 mm** e **tempo di corrivazione pari a 2.8 ore**. Gli esiti ottenuti per tale sezione sono stati considerati validi anche per gli altri sub-bacini. Le grandezze utilizzate sono rappresentate nella tabella seguente.

**COMUNE DI ALGHERO (SS)**

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale  
**RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA INTEGRATIVA**

**Tabella 6** - altezza di pioggia lorde utilizzate per la costruzione degli ietogrammi

	TR (anni)		200
Lunghezza asta		m	14581
Curve Number	CN	-	81.00
Pend.za media bac.	i <sub>bac</sub>	-	0.0843
Area bacino	A	kmq	41.91
Altitudine massima	Hmax	m slm	442.5
Altitudine media	Hmed	m slm	69.74
Altitudine minima	Hmin	m slm	2.88
Pend.za media asta	iret	m/m	0.0157
	Tc	(ore)	2.8000
Tempi di ritorno	T	(anni)	200
Dati pluviometrici	Pgiorn.	(mm)	50
	Sottozona		2
Altezza di pioggia	n1	-	0.34352051
	a1	-	21.6686292
	n2 (ADOTTATO)	-	-0.015064
	a2 (ADOTTATO)	-	2.93084415
	n (ADOTTATO)	-	0.328456
	a (ADOTTATO)	-	63.507375
	<b>h (ADOTTATO)</b>	<b>(mm)</b>	<b>89.063</b>
	S	(mm)	59.580
	la	(mm)	11.916
	Pnetta (ADOTTATO)	(mm)	37.189

La costruzione matematica dello ietogramma è avvenuta con le consuete formule riportate in letteratura tecnica che legano la durata parziale dell'evento all'altezza di pioggia cumulata.

Prima del picco:

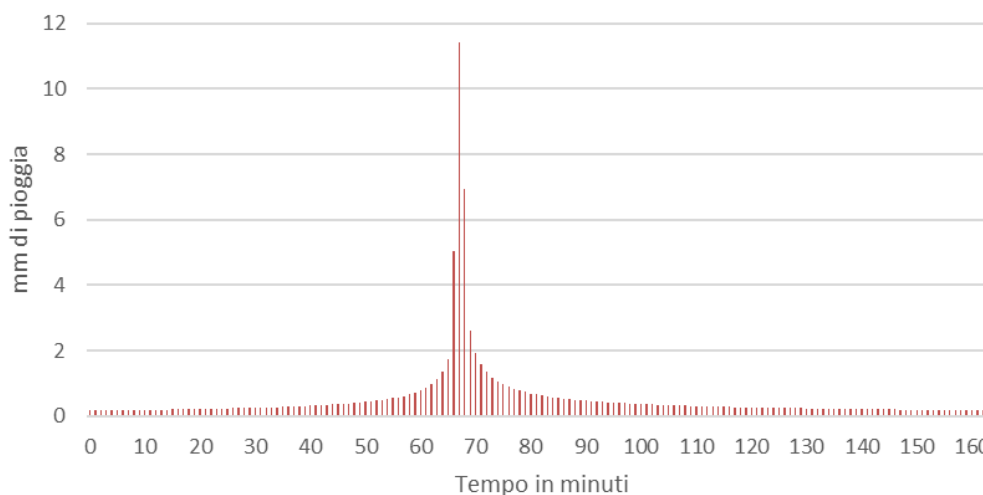
$$i(t) = n a \left( \frac{rt_p - t}{r} \right)^{n-1}$$

Dopo il picco:

$$i(t) = n a \left( \frac{t - rt_p}{1-r} \right)^{n-1}$$

Si è utilizzata una discretizzazione con passi di 60 sec.

Ietogramma Chicago r 0.4 - TR200

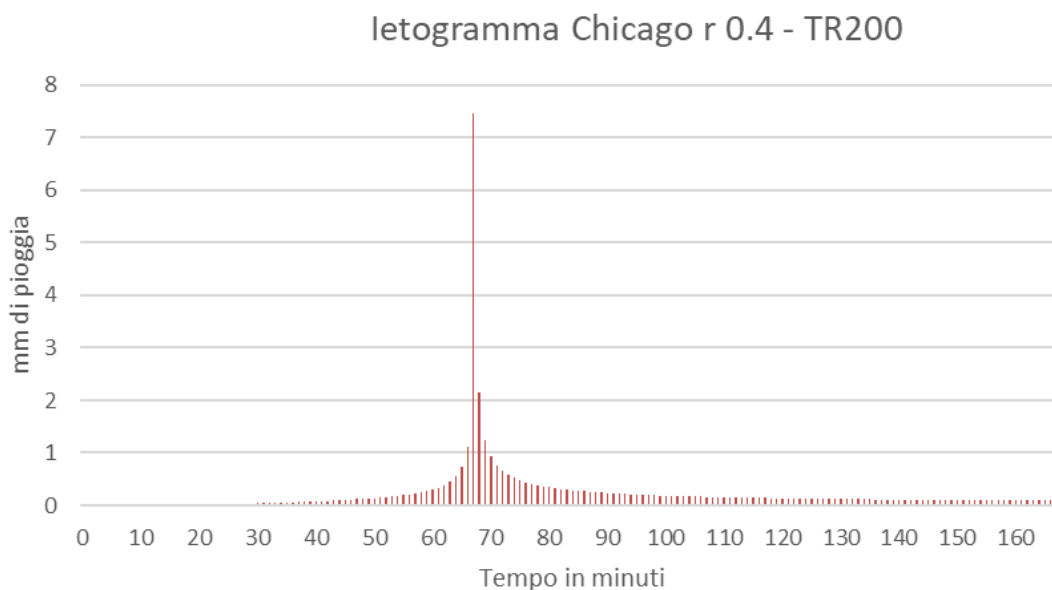


## COMUNE DI ALGHERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale  
**RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA INTEGRATIVA**

**Figura 4** – ietogramma Chicago TR200 – PSFF – pioggia lorda

Successivamente è stato costruito lo ietogramma per l'evento duecentenario considerando il tempo di corrivazione pari a 2.8 ore e la **pioggia netta del PSFF pari a 37 mm**.



**Figura 5** – ietogramma netto Chicago TR200 – PSFF pioggia netta

In totale sono state effettuate **tre modellazioni** utilizzando il tempo di corrivazione definito nel P.S.F.F. di 2.8 ore:

1. Sollecitazione del modello di calcolo con lo ietogramma costruito con la pioggia lorda del P.S.F.F. e il relativo tempo di corrivazione. Non viene attribuita alcuna capacità di infiltrazione al bacino idrografico (tutta la pioggia lorda affluita da origine al deflusso superficiale).
2. Sollecitazione del modello di calcolo con lo ietogramma costruito con la pioggia netta del P.S.F.F. e il relativo tempo di corrivazione. Non viene attribuita alcuna capacità di infiltrazione al bacino idrografico (tutta la pioggia netta affluita da origine al deflusso superficiale).
3. Sollecitazione del modello di calcolo con lo ietogramma costruito con la pioggia lorda del P.S.F.F. e il relativo tempo di corrivazione. Viene attribuita capacità di infiltrazione al bacino idrografico definita applicando la metodologia SCS-CN distribuita nel bacino e non mediata, in accordo con le carte di uso del suolo pubblicate nel Geoportale della Regione Sardegna.

I tre idrogrammi risultanti nella sezione di controllo posta in corrispondenza della sezione "L" del PSFF e quindi in corrispondenza dell'attraversamento in progetto, sono riassunti nell'immagine seguente.

## COMUNE DI ALGHERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale  
**RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA INTEGRATIVA**

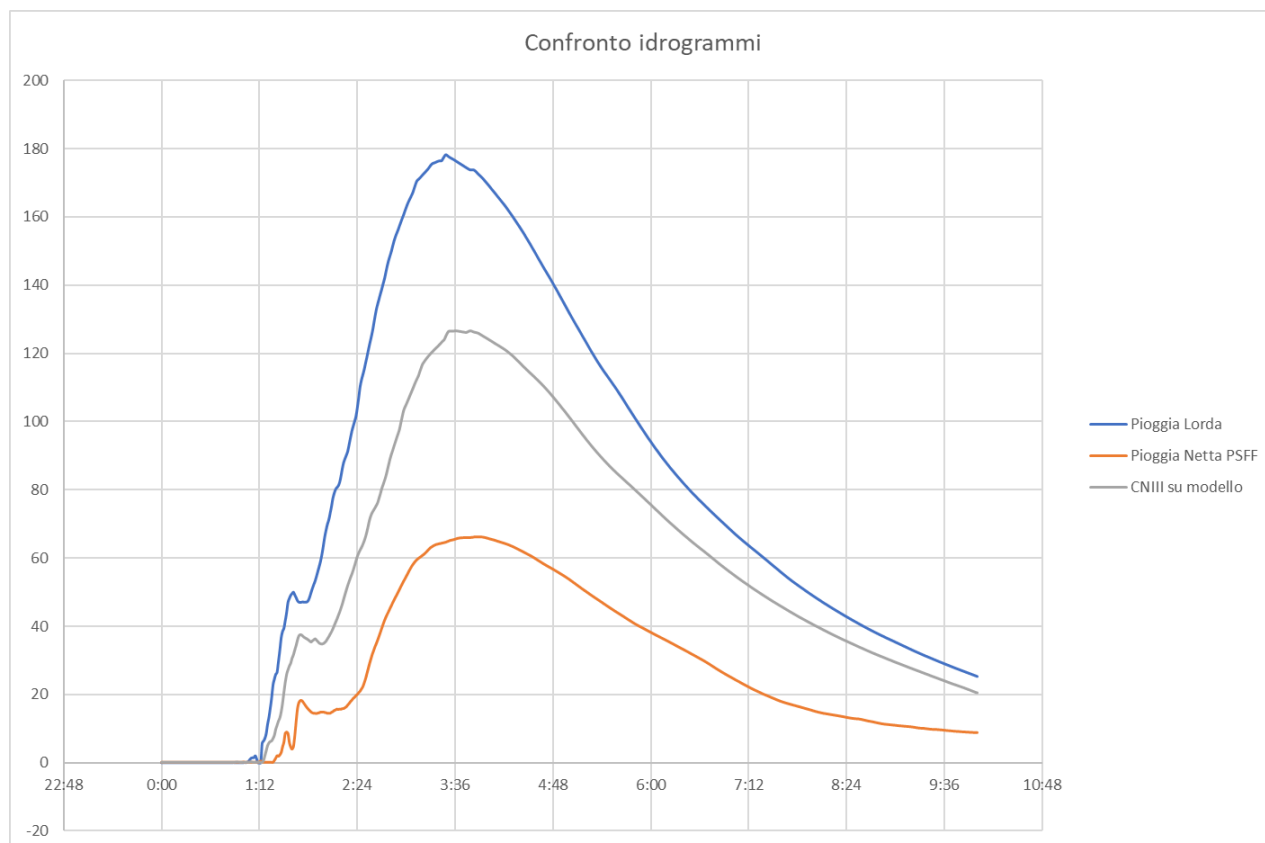


Figura 6 - idrogrammi risultanti dalle modellazioni per l'evento TR200

I valori di picco ottenuti sono riportati in Tabella 7 nella quale è stato inserito anche il valore della portata TR 200 utilizzato nel P.S.F.F. con cui effettuare il confronto.

**Tabella 7** - Valori di portata per il TR200 in m<sup>3</sup>/s con i 3 modelli implementati

P.S.F.F.	Pioggia Lorda Nessuna Infiltrazione	Pioggia Netta Nessuna Infiltrazione	Pioggia Lorda Infiltrazione valutata con SCS CN (CNIII)
155	178.28	66.25	126.58

## 5 Confronto portate variante PAI Comune di Alghero - portate ponte SP44

### 5.1 Premessa

Le analisi idrologiche sviluppate sino ad ora per l'area in esame nel corso dello Studio di Assetto Idraulico (inizialmente noto come Studio di Compatibilità Idraulica redatto ai sensi dell'art. 8 comma 2 delle N.A. del PAI) sono state redatte nel rispetto del metodo T.C.E.V. – Razionale previsto dalle Linee Guida del PAI, adottando come formula per il calcolo del tempo di corrvazione quella SCS (Soil Conservation Service) e calcolando per il Curve Number III il valore di 94.05 (bacino quasi impermeabile). Le portate ottenute sono state ritenute la più cautelative per gli scopi della

## COMUNE DI ALGHERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale  
**RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA INTEGRATIVA**

Pianificazione in esame e sono state utilizzate nelle simulazioni su modello matematico in moto permanente da cui ricavare le aree a pericolosità idraulica per i 4 tempi di ritorno canonici: 50, 100, 200 e 500 anni. Per il Tr 200 anni è risultato il valore di circa 266 mc/s; tuttavia si ritiene importante evidenziare alcuni importanti fattori condizionanti che hanno concorso sino ad ora a proporre e utilizzare il valore suddetto:

- il lavoro in esame è iniziato nel Maggio 2017 e solo in questi giorni, probabilmente, si sta concludendo con la approvazione della Variante del PAI a seguito del riscontro alle Osservazioni pervenute; l'iter ha attraversato quindi il lungo periodo (circa 6 anni) in cui si sono succedute numerose modifiche delle N.A. del PAI, almeno 4 tecnici istruttori dell'ADIS regionale con i quali sono state sempre mantenute interlocuzioni e rispettate le indicazioni in termini di massima cautela nella consapevolezza che le analisi di pianificazione rappresentassero il primo step di individuazione dei pericoli e dei dissesti idraulici nel territorio;
- necessità di non sottostimare le aree a pericolosità idraulica, accettando, semmai, margini di sicurezza ampi nella convinzione che eventuali modifiche e revisioni locali sarebbero state proposte caso per caso da analisi ed approfondimenti associati a nuovi studi o proprio alla progettazione di opere, in contesti, quindi, caratterizzati dalla disponibilità di maggiori elementi di dettaglio e di una significativa autonomia di valutazione cui è chiamato il progettista ai sensi di legge;
- necessità di attenersi alle indicazioni del PAI e dell'ADIS in relazione all'utilizzo del moto permanente con schematizzazione monodimensionale; soltanto dal 2021 è stato possibile, infatti, effettuare l'analisi idraulica con schematizzazione 2D anche per i contesti extra urbani come quello in esame; tuttavia, tale metodologia è stata applicata soltanto in due settori del territorio di Alghero nei quali vi erano specifiche problematiche da approfondire e nei quali era disponibile una base dati topografica sufficientemente dettagliata per un'analisi idrologica e idraulica complessa (modello idrologico distribuito e modello idraulico in moto vario 2D): la zona urbana del Canale San Giovanni e la zona di monte del bacino del Canale Urune, dove era disponibile il "DTM-DSM Costa Non Gallura 2008" e "Alghero 2008", rinviano a momenti successivi analoghe analisi proprio per la parte restante della zona del Canale Urune e per altre zone pianeggianti del territorio comunale.

### 5.2 Sviluppo del confronto

Il confronto con le portate utilizzate sino ad ora nello studio per la Variante P.A.I. del territorio Comunale di Alghero ai sensi dell'art.37 delle Norme di Attuazione del P.A.I. è avvenuto inserendo nel modello di calcolo descritto nei paragrafi precedenti gli ietogrammi di pioggia ottenuti attraverso

**COMUNE DI ALGHERO (SS)**

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale  
**RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA INTEGRATIVA**

l'implementazione dei parametri idrologici ricavati dall'analisi allegata allo studio di variante effettuata con metodologia indiretta TCEV.

Le portate utilizzate in sede di Variante ai sensi dell'art. 37 sono rappresentate nella tabella seguente:

Tabella 8 - tabella riepilogativa portate variante PAI Comune di Alghero

CANALE URUNE - asta 4 SUB.1 sez. 1025.20			TR (anni)	50	100	200	500
Lunghezza asta	L	m	14581	14581	14581	14581	14581
Curve Number	CN	-	94.05	94.05	94.05	94.05	94.05
Pend.za media bac.	i <sub>bac</sub>	-	0.0843	0.0843	0.0843	0.0843	0.0843
Area bacino	A	kmq	41.91	41.91	41.91	41.91	41.91
Altitudine massima	Hmax	m slm	442.5	442.5	442.5	442.5	442.5
Altitudine media	Hmed	m slm	69.74	69.74	69.74	69.74	69.74
Altitudine minima	Hmin	m slm	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88
Pend.za media asta	iret	m/m	0.0157	0.0157	0.0157	0.0157	0.0157
	SCS	(ore)	2.361	2.361	2.361	2.361	2.361
	GIANDOTTI	(ore)	7.302	7.302	7.302	7.302	7.302
	PASINI	(ore)	7.314	7.314	7.314	7.314	7.314
	VAPI	(ore)	5.691	5.691	5.691	5.691	5.691
	KIRPICH	(ore)	1.354	2.708	2.708	2.708	2.708
	VIPARELLI	(ore)	4.050	4.050	4.050	4.050	4.050
	tc adott.		<b>SCS</b>				
	(ore)	2.361	2.361	2.361	2.361	2.361	
Tempi di ritorno	T	(anni)	50	100	200	500	
Dati pluviometrici	Pgiorn.	(mm)	50	50	50	50	
	Sottozona		2	2	2	2	
Altezza di pioggia	n1	-	0.31570972	0.31570972	0.3157097	0.3157097	
	a1	-	20.6914142	20.6914142	20.691414	20.691414	
	n2 (ADOTTATO)	-	-0.01260333	-0.013834	-0.0150641	-0.0166905	
	a2 (ADOTTATO)	-	2.27959585	2.60522	2.9308441	3.3612959	
	n (ADOTTATO)	-	0.30310639	0.30187602	0.3006457	0.2990192	
	a (ADOTTATO)	-	47.1680621	53.9056862	60.64331	69.549965	
	h (ADOTTATO)	(mm)	61.195	69.862	78.511	89.917	
	Coef.Ragg (ADOTTATO)	-	0.895	0.895	0.895	0.895	
	n r (ADOTTATO)	(mm)	54.760	62.516	70.256	80.462	
	S	(mm)	16.069	16.069	16.069	16.069	
	la	(mm)	3.214	3.214	3.214	3.214	
	Pnetta (ADOTTATO)	(mm)	39.296	46.659	54.080	63.946	
	Coef.defl. (SCS)		0.642	0.668	0.689	0.711	
	Coef.defl. (GIANDOTTI)		0.741	0.762	0.778	0.796	
	Coef.defl. (PASINI)		0.741	0.762	0.778	0.796	
	Coef.defl. (VAPI)		0.722	0.743	0.761	0.779	
	Coef.defl. (KIRPICH)		0.582	0.681	0.701	0.723	
Coef.defl. (VIPARELLI)		0.693	0.716	0.735	0.755		
Coef.defl. (ADOTTATO)	-	<b>0.642</b>	<b>0.668</b>	<b>0.689</b>	<b>0.711</b>		
PORTATE DI PIENA	Qpicco (SCS)	(mc/s)	<b>193.792</b>	<b>230.103</b>	<b>266.698</b>	<b>315.354</b>	
	Qpicco (GIANDOTTI)	(mc/s)	101.825	119.297	136.775	159.846	
	Qpicco (PASINI)	(mc/s)	101.730	119.183	136.643	159.690	
	Qpicco (VAPI)	(mc/s)	117.957	138.552	159.184	186.456	
	Qpicco (KIRPICH)	(mc/s)	258.933	213.147	246.666	291.188	
	Qpicco (VIPARELLI)	(mc/s)	<b>143.571</b>	<b>169.285</b>	<b>195.098</b>	<b>229.292</b>	
	Qpicco (ADOTTATO)	(mc/s)	<b>193.792</b>	<b>230.103</b>	<b>266.698</b>	<b>315.354</b>	

## COMUNE DI ALGHERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale  
**RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA INTEGRATIVA**

E' possibile osservare in tabella come per il TR200 si abbia un volume totale di pioggia lorda pari a 78.511 mm, e una pioggia netta pari a 54.080 mm, ottenuta con un CNIII pari a 94.05 e coefficiente di ragguglio pari a 0.895 e un tempo di corrivazione pari a 2.36 ore.

I modelli implementati sono i seguenti:

1. Ietogramma costruito con tempo di corrivazione pari a 2.36 ore, pioggia totale pari a 78.511 mm e CNIII medio pari a 94.05 **(caratteristiche analoghe allo Studio per Variante PAI)**
2. Ietogramma costruito con tempo di corrivazione pari a 2.36 ore, pioggia totale pari a 89 mm, come PSFF e CNIII medio pari a 94.05 **(tempo di corrivazione e CN come da Variante PAI ma pioggia totale come da PSFF)**

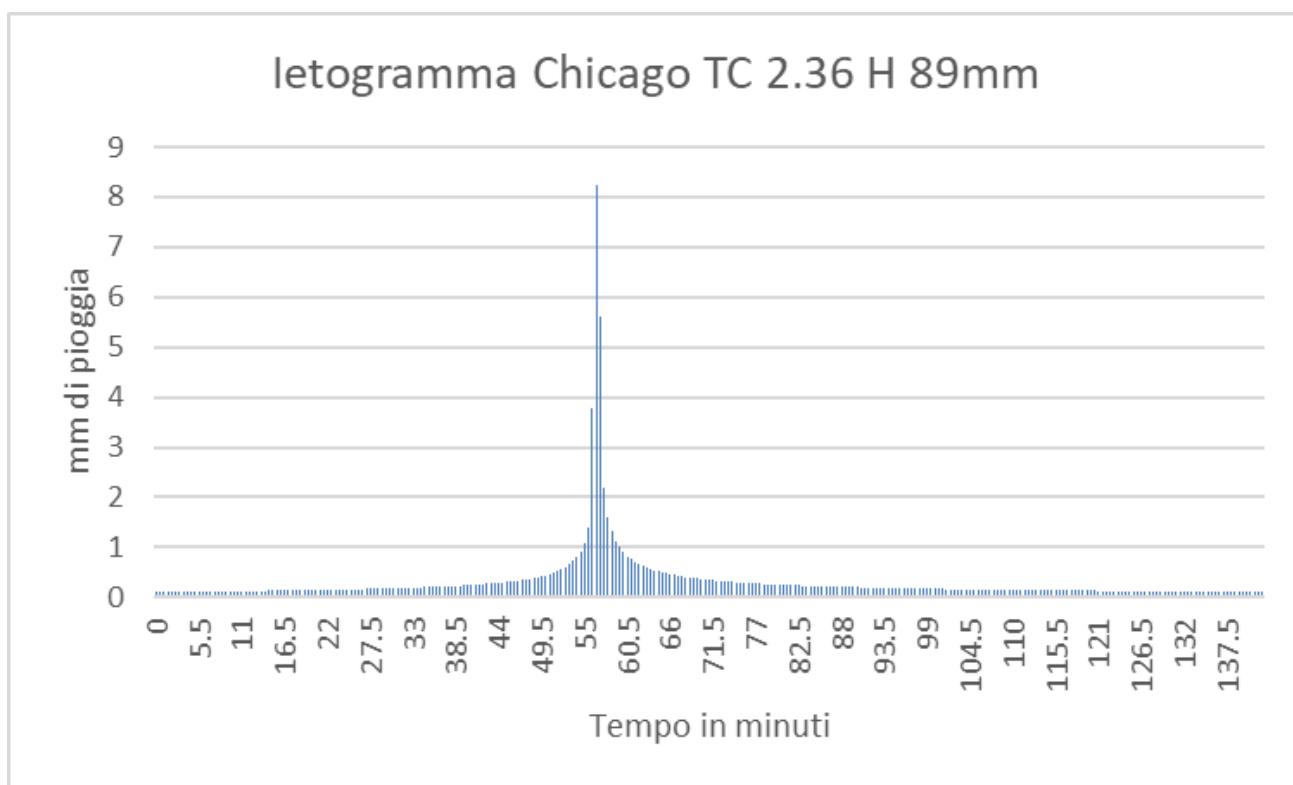


Figura 7 – Ietogramma netto Chicago TR200 – TC 2.36 ore H = 89 mm



**COMUNE DI ALGHERO (SS)**

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale  
**RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA INTEGRATIVA**

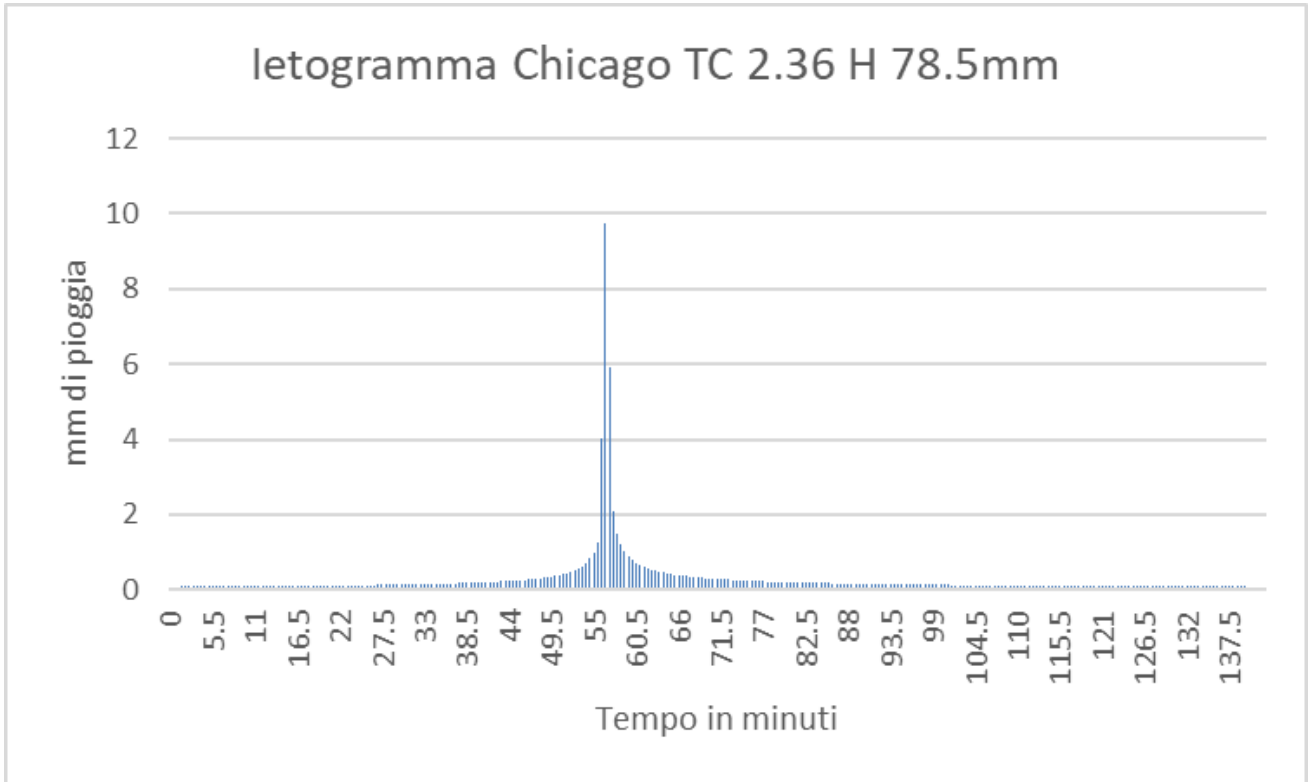


Figura 8 – ietogramma netto Chicago TR200 – TC 2.36 ore **H = 78.5 mm**

I risultati ottenuti sono rappresentati nella figura seguente:

## COMUNE DI ALGHERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale  
**RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA INTEGRATIVA**

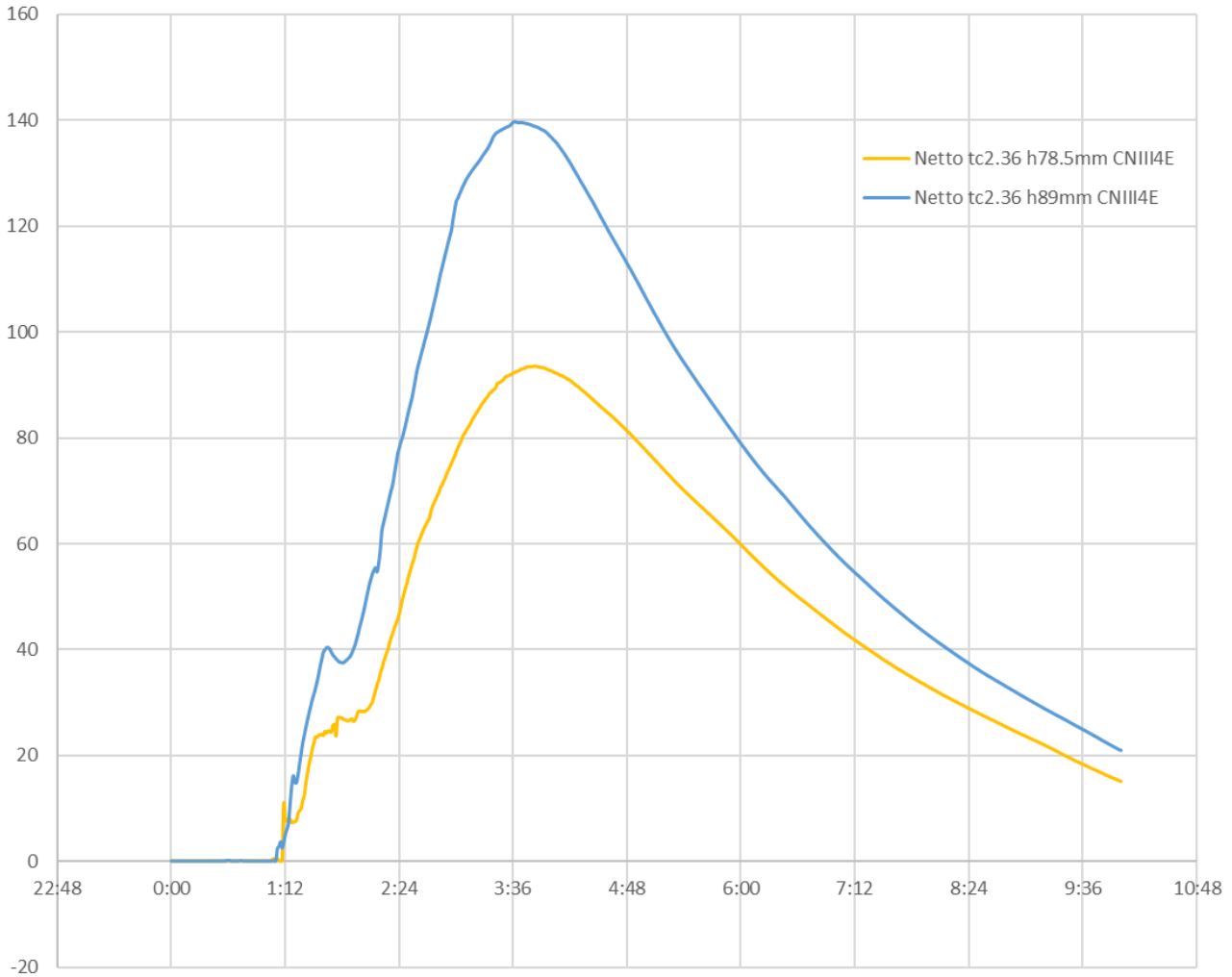


Figura 9 - idrogrammi di piena per le due modellazioni effettuate

Si osservano i seguenti valori di picco:

- **93.471 m³/s** per il modello sollecitato dallo ietogramma costruito con pioggia totale pari a 78.511 mm;
- **139.897 m³/s** per il modello sollecitato dallo ietogramma costruito con pioggia totale pari a 89 mm.

Si precisa che considerando un tempo di pioggia pari a 2.36 ore, la nota formula

$$h = i \cdot t = a \cdot t^n$$

restituisce come mm di pioggia il valore pari a 78.511. Pertanto la modellazione con tempo di pioggia pari a 2.36 ore e  $h = 89$  mm è puramente teorica. Per ottenere 89 mm di pioggia sarebbe necessario infatti incrementare il tempo di pioggia a 2.8 ore come avviene nel P.S.F.F. (**vedi modellazione n. 3 del paragrafo 4.2**).

## 6 Conclusioni

Sono state effettuate 5 elaborazioni con modello idrologico distribuito e idraulico in moto vario 2D, combinando differentemente i principali fattori che intervengono nella trasformazione afflussi-deflussi, con lo scopo di valutare con il migliore livello di affidabilità possibile le portate di piena nella sezione di chiusura di interesse del bacino del Canale Urune: tempo di corrivazione, Curve Number (misura della capacità di infiltrazione) altezza di pioggia.

I risultati ottenuti per la portata con Tr 200 anni sono riportati in sintesi nella tabella seguente:

**Tabella 9** – Valori di portata per il TR200 in m<sup>3</sup>/s con i 5 modelli implementati al variare dei fattori CN, h, Tc

GRANDEZZA	U.M.	TCEV-RAZIONALE		ANALISI CON MODELLO DISTRIBUITO E MOTO VARIO 2D				
		P.S.F.F.	VARIANTE PAI ALGHERO	Modello 1	Modello 2	Modello 3	Modello 4	Modello 5
CN III	-	81	94,05	100	100	94,05	94,05	94,05
Pioggia lorda	mm	89	78,51					
Pioggia netta	mm	37	54,08					
Pioggia input per ietogramma	mm			89	37	89	78,51	89
Tc	ore	2,8	2,36	2,8	2,8	2,8	2,36	2,36
Q <sub>200</sub>	m <sup>3</sup> /s	<b>155</b>	<b>266,7</b>	<b>178,28</b>	<b>66,25</b>	<b>126,58</b>	<b>93,47</b>	<b>139,89</b>

Le elaborazioni effettuate evidenziano una portata massima di picco per il bacino oggetto di analisi pari a **178.28 m<sup>3</sup>/s** considerando i parametri idrologici utilizzati nel P.S.F.F. e una capacità nulla di infiltrazione del bacino. Tale condizione è evidentemente irrealistica e rappresenta un valore massimo del tutto teorico che esprime il limite superiore di portata raggiungibile alla sezione di controllo con l'intero volume di pioggia defluente in una superficie totalmente impermeabile.

Implementando le caratteristiche geomorfologiche del bacino e considerando quindi la capacità di infiltrazione del terreno con metodologia SCS-CN e calcolando il CN III, il valore di picco ottenuto per la Q<sub>200</sub> di **126,58 m<sup>3</sup>/s** è paragonabile al valore del P.S.F.F. di **155.00 m<sup>3</sup>/s**, seppur inferiore ad esso.

Inoltre sono state effettuate due ulteriori simulazioni considerando il tempo di corrivazione utilizzato nella Variante PAI redatta dal Comune di Alghero pari a 2.36 ore e come pioggia di input per lo ietogramma il valore 78.51 (Variante PAI Alghero) e il valore 89 (PSFF); il valore massimo ottenuto è pari a **139.89 m<sup>3</sup>/s**.

In definitiva, tra tutte le modellazioni effettuate, il valore di **155.00 m<sup>3</sup>/s** viene raggiunto soltanto nell'ipotesi irrealistica che tutta la pioggia lorda dia origine al deflusso; in tutti gli altri casi, nonostante siano stati considerati i valori più cautelativi adottati nella Variante PAI di Alghero e nel PSFF, le portate restano inferiori e al massimo raggiungono il picco di 139.89 m<sup>3</sup>/s; pertanto si traggono le seguenti conclusioni:

## COMUNE DI ALGHERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale  
**RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA INTEGRATIVA**

- l'utilizzo di tale portata come valore di riferimento per il dimensionamento del ponte lungo la SP 44 appare rispettoso del principio di massima cautela e non produce la sottostima delle portate che realisticamente raggiungerebbero la sezione di chiusura in caso di eventi come quello considerato nella pianificazione ufficiale per il Tr 200 anni;
- le analisi con modello idrologico distribuito e modello idraulico in moto vario D svolte per la formazione della portata di picco in corrispondenza della sezione di chiusura del sub-bacino L dove ha sede il ponte da adeguare, sono da considerare valide e senza dubbio più evolute e affidabili di quelle svolte sino ad ora utilizzando il metodo TCEV e la modellazione 1D su base cartografica prevalentemente fornita dalla CTR in scala 1:10.000. Tali analisi confermano che i valori del PSFF per il caso in esame, sono sufficientemente cautelativi sia per il dimensionamento delle opere sia per le finalità degli studi di Assetto Idraulico alla base della Pianificazione territoriale, oggetto della presente variante del PAI.
- la definizione delle nuove aree di allagamento, pericolosità e rischio idraulico può essere effettuata con l'impiego delle portate del PSFF per tutti i sub-bacini a valle del D e sino alla Foce (sub bacino M), utilizzando per il momento simulazioni in moto permanente con schema 1D e rinviando ad una fase successiva l'ulteriore eventuale aggiornamento derivante dall'analisi idraulica 2D sull'intero bacino del Canale Urune; le portate utilizzate nelle simulazioni sono riportate nella tabella seguente tratta dal solutore Hec-Ras:

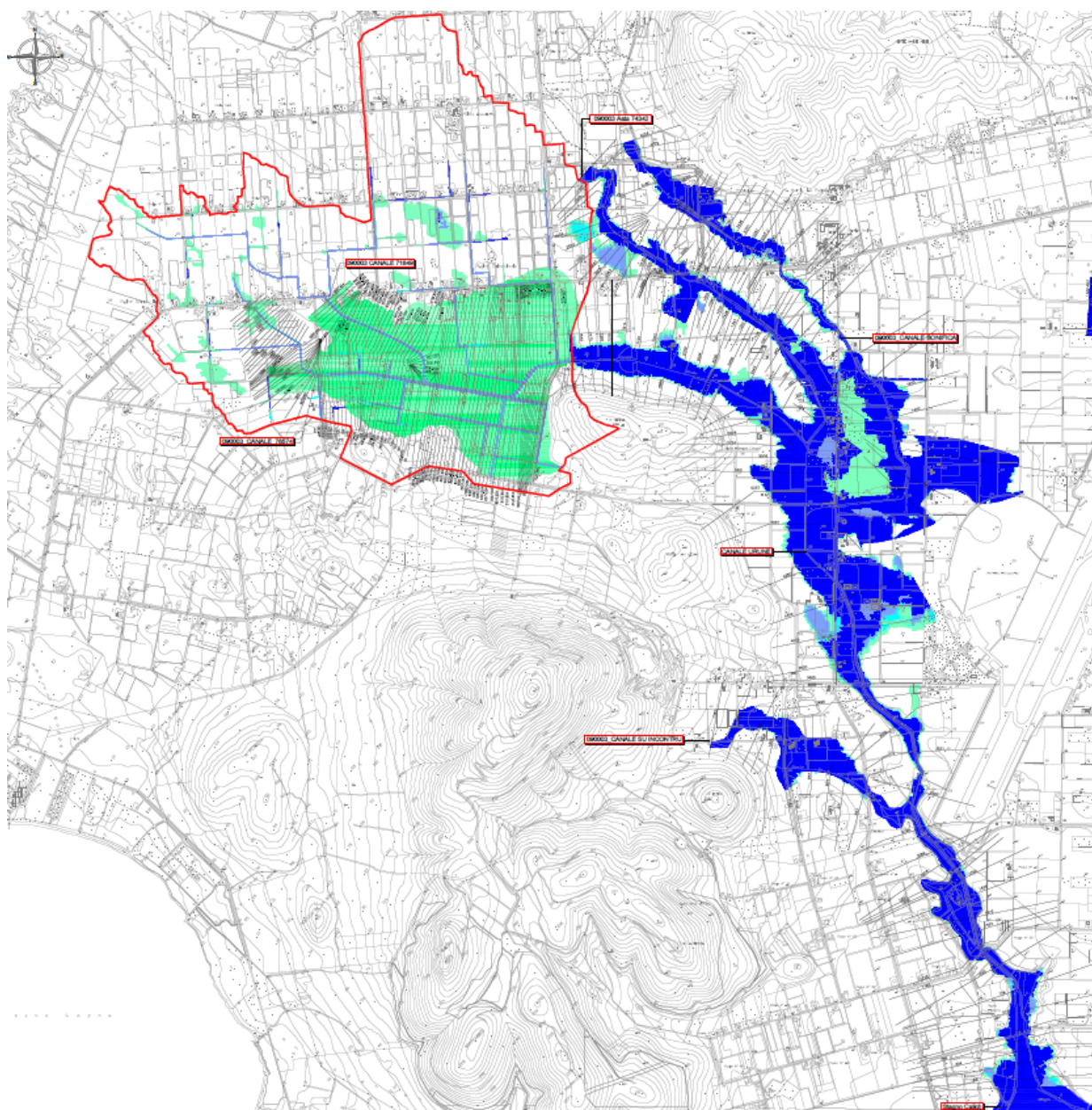
River	Reach	RS	PORTATE mc/s			
			tr 50	tr 100	tr 200	tr 500
86409	Asta	3172	55.6	65.9	76.4	90.3
Canale di Bon	Asta	4556	17	20.5	23.9	28.6
Canale di Bon	Asta	2433.408	21.8	26.2	30.6	36.6
Canale su Inc	Asta	1780	20.3	24.2	28.2	33.7
Canale urune	Asta 1	7632	50	65	82	105
Canale urune	Asta 1	6243	61	79	99	126
Canale urune	Asta 2	5516	85	110	137	174
Canale urune	Asta 3	5001	87	111	138	174
Canale urune	Asta 4	2298	100	127	155	193

- i valori di portata utilizzati sino ad ora ottenuti nell'ambito della Variante PAI del Comune di Alghero sono da considerare superati in virtù della disponibilità di una nuova base dati topografica (DTM 1 m "Ombre" nell'area a valle del sub-bacino D) e della possibilità di utilizzare la modellazione distribuita e 2D per il calcolo delle portate ed eventualmente anche delle aree di allagamento, senza diminuire i margini di cautela e sicurezza, come dimostrato nel presente documento.

Si riportano di seguito alcune figure che illustrano le carte della pericolosità e del Rischio Idraulico per il settore Nord-Ovest del territorio comunale e di seguito i report delle simulazioni in MP.

**COMUNE DI ALGERO (SS)**

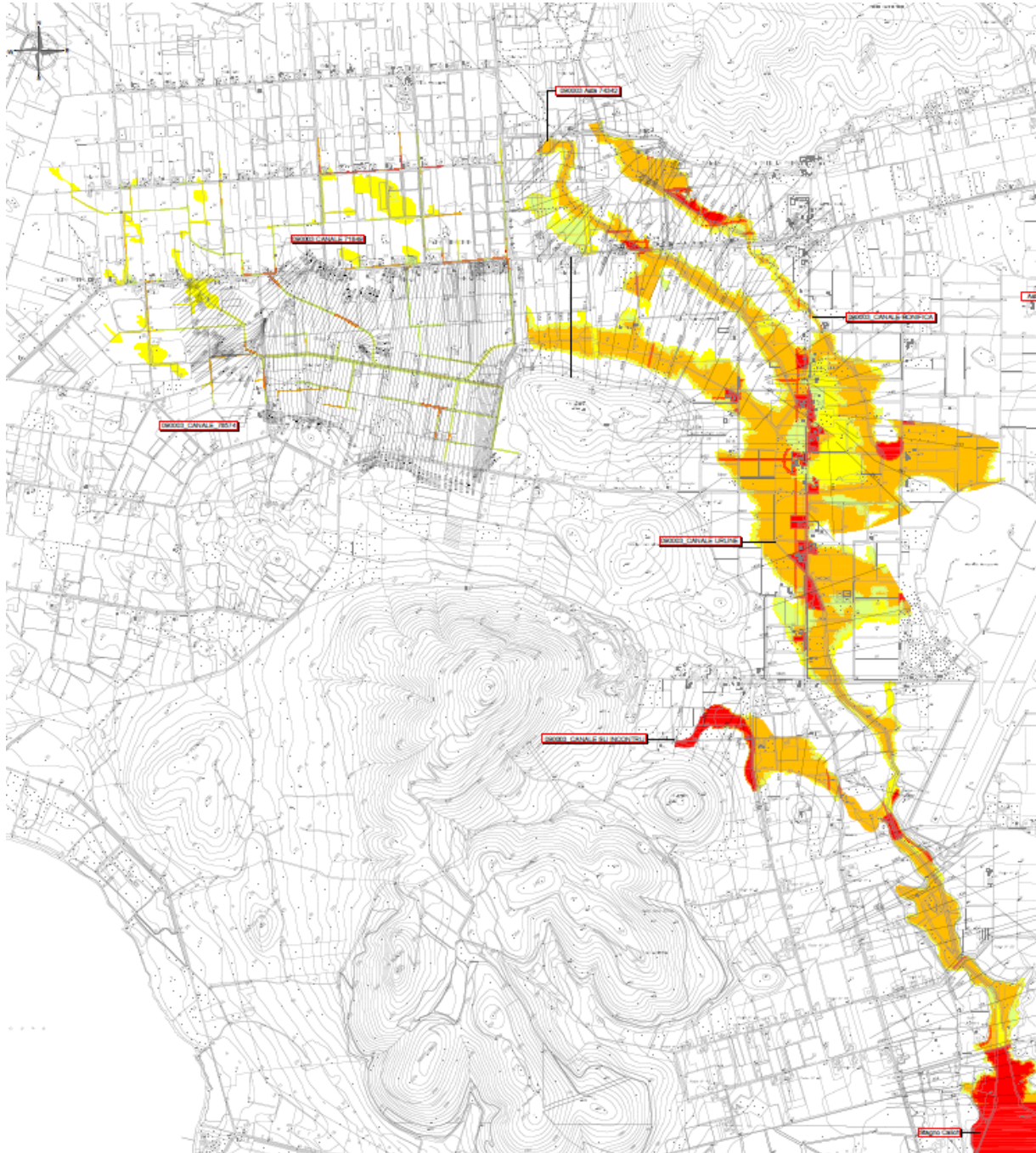
Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale  
**RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA INTEGRATIVA**



**Figura 10** – nuova carta della Pericolosità Idraulica per il settore Nord-Ovest

**COMUNE DI ALGERO (SS)**

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale  
**RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA INTEGRATIVA**



**Figura 11** – nuova carta del Rischio Idraulico per il settore Nord-Ovest

**FIRMATO DIGITALMENTE**

Ing. Fabio Cambula  
(STUDIO ASSOCIATO 4E-INGEGNERIA)