



**Corso di aggiornamento**

## **ESPERIENZE INNOVATIVE PER LA GESTIONE IDRAULICA DEL TERRITORIO**

*7 dicembre 2018*

**CUGRI – CAMPUS UNIVERSITARIO DI FISCIANO**

**2<sup>a</sup> Sessione: Casi studio**

### **Gestione delle piene in tempo reale alla traversa di Ponte Annibale**

***Consorzio Generale di Bonifica del Bacino inferiore del Volturno***



***a cura dell'ing. Massimiliano Capezzuto***

## DECRETO 26 GIUGNO 2014

“Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)” del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana - Serie generale - n. 156 del 8-7-2014

### ➤ A.2. - Finalità

Le presenti Norme hanno la finalità di assicurare, anche in caso di eventi estremi, la permanenza della funzione di contenimento dell'acqua di invaso e della funzionalità degli organi necessari alla vuotatura controllata del serbatoio. Per le “dighe di interesse strategico”, definite al cap. C.7.7.2, le presenti Norme sono finalizzate anche all'accertamento del requisito di mantenimento in esercizio dell'opera.

### ➤ C. DISPOSIZIONI COMUNI – C.1. – Portata di progetto e dispositivi di scarico

...Gli scarichi di superficie della diga devono essere dimensionati per l'onda con portata al colmo di piena corrispondente al periodo di ritorno di 1000 anni, per le dighe in calcestruzzo, ..... tenendo conto dell'effetto di laminazione esercitato dal serbatoio.

La portata di piena dovrà essere valutata con metodi probabilistici basati sull'informazione pluviometrica e idrometrica completa, desumibile dalle serie storiche e dai loro aggiornamenti, per il bacino idrografico sotteso dalla sezione dello sbarramento. In assenza o carenza di informazioni, si potrà fare anche riferimento a dati di bacini limitrofi idrologicamente omogenei, utilizzando appropriate e giustificate metodologie di calcolo.

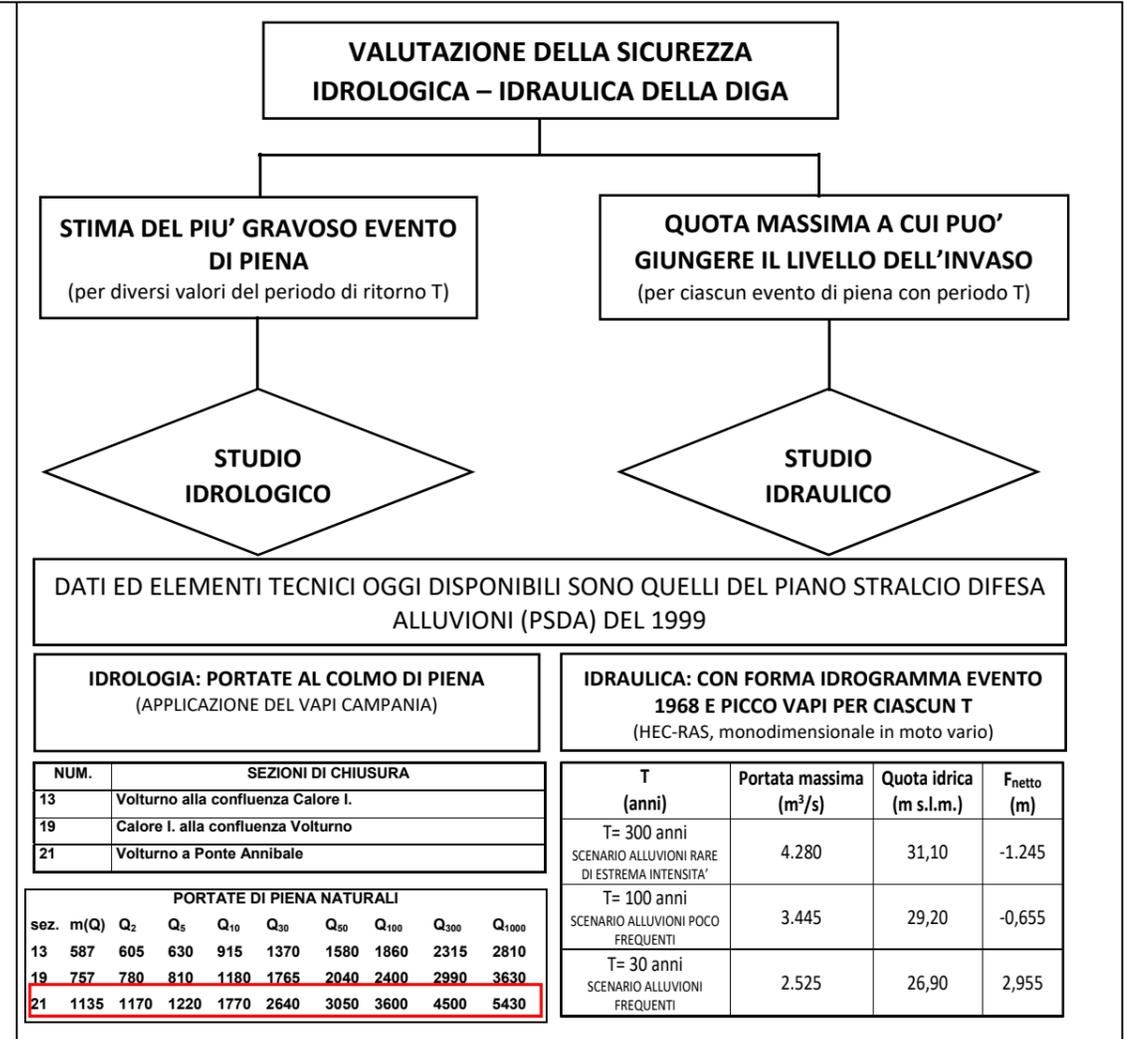
Le verifiche devono comprendere anche la stima della portata di piena con periodo di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni.

Gli scarichi di superficie della diga dovranno essere dimensionati in modo tale che il franco netto non sia inferiore a 1,0 m per le dighe di calcestruzzo....

### ➤ B. CLASSIFICAZIONE E DEFINIZIONI B.1. – Definizioni

• **Franco netto:** differenza tra la quota del piano di coronamento e quella di massimo invaso incrementata della semialtezza della maggiore tra l'onda generata dal vento ovvero quella di massima regolazione incrementata della semialtezza dell'onda da sisma di progetto, calcolate come all'art. C2...

• **Quota di massimo invaso:** quota massima cui può giungere il livello dell'invaso ove si manifesti il più gravoso evento di piena previsto in progetto.



## DIRETTIVA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI 8 luglio 2014

Indirizzi operativi inerenti l'attività di protezione civile nell'ambito dei bacini in cui siano presenti grandi dighe

### DIGHE: ATTIVITA' DI PREVISIONE E PREVENZIONE

#### RIDUZIONE DELLA PERICOLOSITA' INDOTTA:

#### VIGILANZA SULLA SICUREZZA DELLE DIGHE

- approvazione in linea tecnica dei progetti sulla base di NT di settore [D.M. 1982 ...]
- vigilanza durante la costruzione, invasi sperimentali
- vigilanza durante l'esercizio sulle operazioni di controllo del comportamento dello sbarramento e delle zone interessate dall'invaso che concessionari e gestori sono tenuti a svolgere - FCEM e regole generali gestione scarichi
- verifiche straordinarie - rivalutazioni della sicurezza idrologico-idraulica e sismica

#### RIDUZIONE DEL RISCHIO:

#### ALLERTAMENTO E PIANIFICAZIONE

- documento di protezione civile diga
- strumenti locali di tutela (sirena, cartelli monitori)
- piano di emergenza diga

### IL NUOVO DOCUMENTO DI PROTEZIONE CIVILE

Il “Documento di protezione civile” [distinto e propedeutico al “Piano di emergenza”] stabilisce per ciascuna diga (unitamente a prefissate informazioni di sintesi) le specifiche condizioni per l'attivazione del sistema di protezione civile e le comunicazioni e le procedure tecnico-amministrative da attuare:

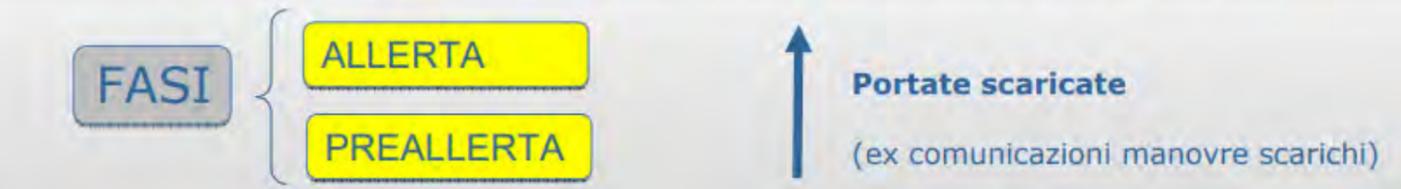
nel caso di eventi, temuti o in atto, coinvolgenti l'impianto di ritenuta o una sua parte e rilevanti ai fini della sicurezza della diga e dei territori di valle  
→ **“RISCHIO DIGA”** cioè rischio idraulico indotto dalla diga, conseguente ad eventuali problemi di sicurezza della diga

nel caso di attivazione degli scarichi della diga stessa con portate per l'alveo di valle che possono comportare fenomeni di onda di piena e rischio di esondazione (“rischio idraulico a valle”)  
→ **“RISCHIO IDRAULICO A VALLE”** cioè rischio idraulico non connesso a problemi di sicurezza della diga ma conseguente alle portate scaricate a valle, ancorché ridotte per laminazione

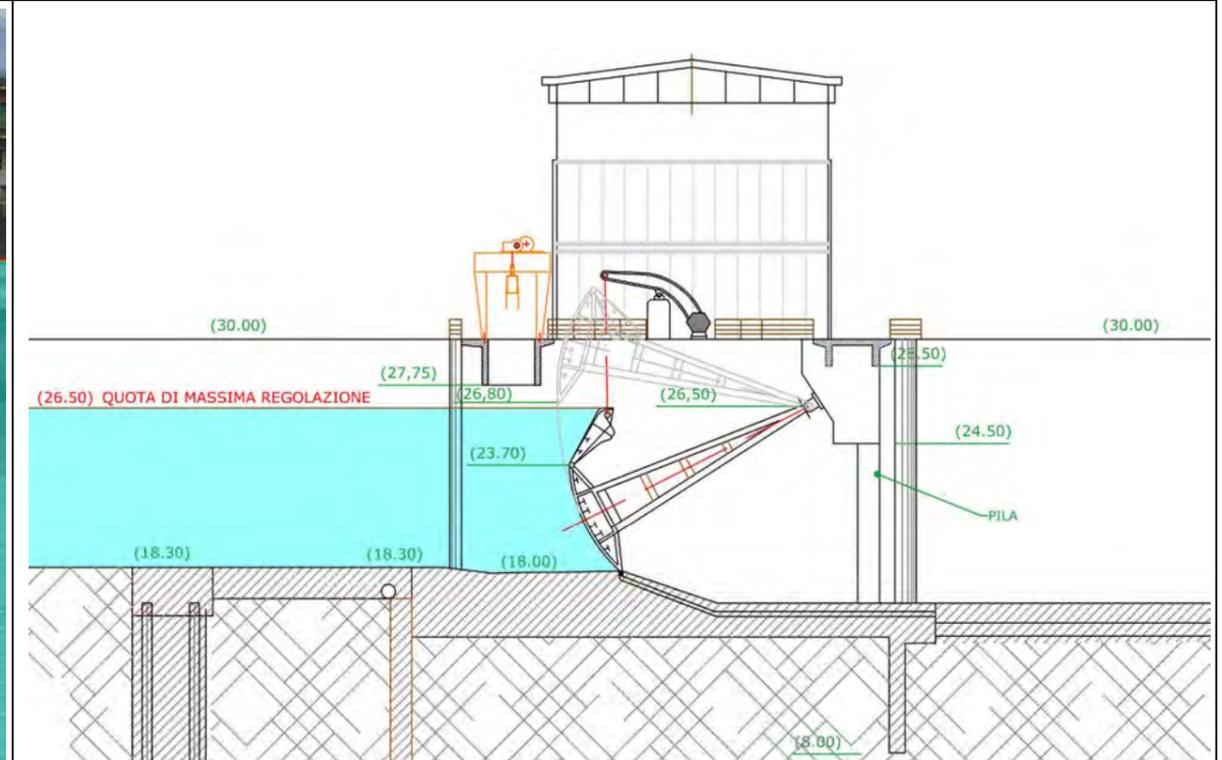
## FASI DI ALLERTA RELATIVE AL "RISCHIO DIGA"



## FASI DI ALLERTA RELATIVE AL "RISCHIO IDRAULICO A VALLE"



## FASI DI ALLERTA RELATIVE AL RISCHIO DIGA



**LA DIRETTIVA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI 8 luglio 2014, mediante il Documento di Protezione civile:**

- **stabilisce le condizioni di attivazione delle fasi di allerta** per le finalità di sicurezza degli sbarramenti e di gestione del rischio idraulico a valle;
- **definisce le azioni conseguenti alla attivazione delle suddette fasi di allerta in caso di eventi e scenari, temuti o in atto, aventi rilievo per l'allertamento e l'attivazione del sistema di Protezione civile;**
- stabilisce i legami funzionali e procedurali tra i vari soggetti coinvolti nella predisposizione, attivazione ed attuazione delle azioni atte a garantire la sicurezza degli sbarramenti ed il contrasto del rischio idraulico a valle;
- individua i soggetti istituzionalmente preposti alla predisposizione dei piani di emergenza per contrastare le situazioni di pericolo connesse con la propagazione di un'onda di piena originata da manovre degli organi di scarico ovvero dall'ipotetico collasso dello sbarramento;
- stabilisce le condizioni per l'attivazione, **da parte del gestore**, delle fasi di allerta che sono differenziate in relazione agli eventi temuti ed allo stato della diga. In particolare, ai fini della gestione in termini di procedure di Protezione civile **di eventi di rilievo** per la sicurezza dello sbarramento e dell'invaso (c.d. «rischio diga») sono definite fasi di «Preallerta», «Vigilanza rinforzata», «Pericolo» e «Collasso».

#### **FASE DI PREALLERTA**

A partire da condizioni di vigilanza ordinaria, a seguito di emanazione di avviso di criticità da parte del centro funzionale decentrato o comunque in tutti i casi che il gestore, sulla base di proprie valutazioni, riterrà significativi per caratteristiche del bacino idrografico e per stato dell'invaso, si verifica una fase di «**preallerta**» quando l'invaso superi la quota massima di regolazione o, nei casi in cui la quota di massimo invaso coincida o sia di poco superiore alla quota massima di regolazione, quando, per il mantenimento della predetta quota massima di regolazione, si renda necessaria l'apertura volontaria od automatica degli scarichi presidiati da paratoie.

#### **FASE DI VIGILANZA RINFORZATA**

Il gestore attiva la fase di «vigilanza rinforzata» quando **si è in presenza di apporti idrici che facciano temere o presumere** il superamento della quota di massimo invaso, quale indicata nel FCEM.

#### **DOMANDE:**

- **A CHI E' IN CAPO LA RESPONSABILITA' E L'OBBLIGO DI ATTIVARE LE FASI DI ALLERTA OLTRE CHE INFORMARE COSTANTEMENTE GLI ORGANI PREPOSTI SULL'EVOLVERSI DELLA SITUAZIONE DI ALLERTA???**  
**AL GESTORE, PER IL TRAMITE DELL'INGEGNERE RESPONSABILE**
- **COSA SI INTENDE PER EVENTI O SCENARI "TEMUTI O IN ATTO"?????**
- **COSA SI INTENDE PER APPORTI IDRICI CHE FACCIANO TEMERE O PRESUMERE IL SUPERAMENTO DELLE QUOTE MASSIME DI INVASO???**  
**SI RICHIEDE UN'APPROFONDIRITA CONOSCENZA DELLE MODALITA' DI RISPOSTA IDROLOGICA DEL BACINO E DELLE CARATTERISTICHE IDRODINAMICA DEL CORSO D'ACQUA**
- **IN RELAZIONE AGLI EVENTI O SCENARI TEMUTI O IN ATTO, COME VANNO LETTI E, CONSEGUENTEMENTE, ATTUATI GLI AVVISI DI CRITICITA' EMANATI DAL CENTRO FUNZIONALE DECENTRATO DI P.C.???**  
**DA SOLI NON BASTANO; SI RICHIEDONO:**
  - **I VALORI DI PIOGGIA CADUTA AL SUOLO E DI LIVELLO IDRICO REGISTRATI ALLE STAZIONI DI MONITORAGGIO DI INTERESSE (IN TEMPO REALE), SUPPORTATI DA PREFISSATI "LIVELLI DI SOGLIA";**
  - **LA ELABORAZIONE DEGLI STESSI IN TERMINI DI VALUTAZIONE, PER CIASCUNA STAZIONE IDROMETRICA, DELL' AFFLUSSO AREALE MEDIO (PRECIPITAZIONE CUMULATA E RAGGUAGLIATA AL BACINO IDROGRAFICO SOTTESO DALLA STAZIONE IDROMETRICA DI INTERESSE) E DELLA PORTATA Istantanea TRANSITANTE IN CORRISPONDENZA DELLA STAZIONE IDROMETRICA (SCALE DI DEFLUSSO).**

**LA FASE DI PREALLERTA, E LE ALTRE FASI IN CASCATA, POSSO AVERE LUOGO NEI CASI IN CUI IL GESTORE, SULLA BASE DI PROPRIE VALUTAZIONI, RITERRA' SIGNIFICATIVI GLI EVENTI IN RELAZIONE ALLE CARATTERISTICHE DEL BACINO IDROGRAFICO ED ALLO STATO DELL'INVASO.**

## FASI DI ALLERTA RELATIVE AL "RISCHIO IDRAULICO A VALLE"

$Q_{Amax}$

$Q_{Amax}$  è la massima portata transitabile in alveo a valle dello sbarramento contenuta nella fascia di pertinenza idraulica (circ. PCM 22806/95)

$Q_{min}$

$Q_{min}$  è il valore "soglia di attenzione scarico diga", indicatore del probabile approssimarsi o manifestarsi di prefigurati scenari di evento (quali ad esempio esondazioni localizzate per situazioni particolari, lavori idraulici, presenza di restringimenti, attraversamenti, opere idrauliche, etc) ed è determinato in base alle situazioni che potrebbero insistere sull'asta idraulica a valle della diga in corso di piena, tenendo conto dell'apporto, in termini di portata, generabile dal bacino imbrifero a valle della diga. In maniera analoga sono definite le soglie incrementali  $\Delta Q$

$\Delta Q$

FINALITA': monitoraggio delle portate e della propagazione dell'onda di piena nel corso d'acqua a valle dell'invaso e, se del caso, all'attivazione dei piani di emergenza

N.B. il Documento di protezione civile può stabilire una soglia di portata scaricata al di sotto della quale non è previsto l'obbligo di comunicazioni o attivazioni della fase

## FASI DI ALLERTA RELATIVE AL "RISCHIO IDRAULICO A VALLE"

### ASSENZA DI PIANO DI LAMINAZIONE

**PREALLERTA PER RISCHIO IDRAULICO**

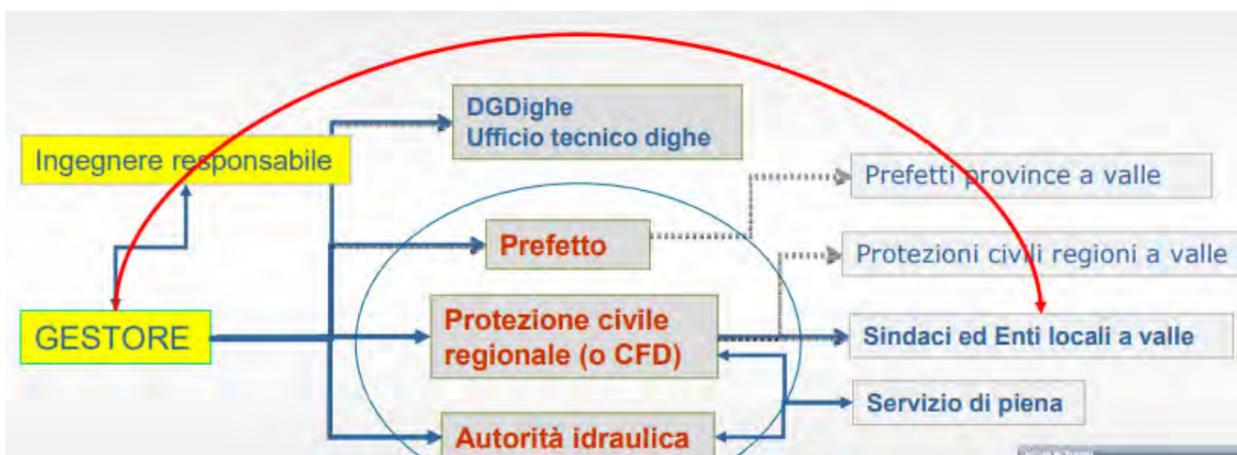
Il Gestore riceve, secondo le procedure di allerta regionali, gli Avvisi di Criticità Idrogeologica e Idraulica. In condizioni di piena, prevista o in atto, il Gestore attiva la fase di "preallerta per rischio idraulico" in previsione o comunque all'inizio delle operazioni di scarico, se effettuate tramite apertura di paratoie a comando volontario o automatico, indipendentemente dal valore della portata

**ALLERTA PER RISCHIO IDRAULICO**

Il Gestore attiva la fase di "allerta per rischio idraulico" quando le portate complessivamente scaricate dalla diga, inclusi gli scarichi a soglia libera e le portate turbinate (se rilevanti per entità e luogo di restituzione), superano il valore  $Q_{min}$

### PRESENZA DI PIANO DI LAMINAZIONE

La definizione delle fasi di allerta è stabilita nel Piano di laminazione



## ELABORAZIONE DI UN MODELLO DI PREVISIONE IDROLOGICO-IDRAULICO DELLE PIENE QUALE STRUMENTO DI SUPPORTO ALLE DECISIONI (DEL GESTORE) PER LA GESTIONE DEL "RISCHIO DIGA" E DEL "RISCHIO IDRAULICO A VALLE"

- 1) STUDIO CONDOTTO PER LA "RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA IDROLOGICA-IDRAULICA DELLA DIGA", MEDIANTE IL QUALE SONO STATI DEFINITI: UN MODELLO IDROLOGICO DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI; UN MODELLO IDRAULICO DI PROPAGAZIONE IN ALVEO DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA;
- 2) ANALISI DEI DATI PRINCIPALI RELATIVI AGLI EVENTI DI PIENA (REGISTRO DELLE PIENE) E CONSIDERAZIONI SULLE SOGLIE IDROMETRICHE PREVISTE DALLA PROTEZIONE CIVILE;
- 3) ANALISI DEI MASSIMI EVENTI DI PIENA REGISTRATI ALLA DIGA DI PONTE ANNIBALE, DEL MARZO 2005 E DELL'OTTOBRE 2015;
- 4) POSSIBILE PREVISIONE DEGLI EVENTI SIGNIFICATIVI AI FINI DELLA GESTIONE DEL RISCHIO DIGA E DEL RISCHIO IDRAULICO A VALLE:
  - COME STRUMENTO DI SUPPORTO ALLE DECISIONI (BACK ANALYSIS DELL'EVENTO DEL 2005, CON IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDROLOGICO DI PREVISIONE);
  - COME STRUMENTO DI SUPPORTO ALLA OTTIMALE GESTIONE DELLE PROCEDURE DI APERTURA DEGLI ORGANI DI SCARICO DELLA TRAVERSA, COME PREVISTI DAL FCEM;
- 5) SIMULAZIONE IDRAULICA DEGLI EFFETTI PRODUCIBILI SUL TERRITORIO DALL'EVENTO DI PIENA TEMUTO (PREVISTO) O IN ATTO.



## TRAVERSA DI PONTE ANNIBALE SUL FIUME VOLTURNO Arch. S.N.D. 663 D

### RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA IDROLOGICA ED IDRAULICA ai sensi e per gli effetti del D.M. 26.06.2014



## SINTESI TECNICA DELLO STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO

### REDAZIONE:

**dott.ing. Massimiliano Capezzuto**  
Ingegnere Responsabile ex Art.4–c.7 L.584/94

### IL DIRIGENTE DEL'AREA TECNICA 1 DEL CONSORZIO DI BONIFICA

**dott.ing. Camillo Mastracchio**  
Responsabile attività di cui al Protocollo d'Intesa

### GRUPPO DI LAVORO PER LA REDAZIONE:

Consorzio di Bonifica  
dott.ing. Antonio Iodice  
geom. Giuseppe Conte  
p.i. Antonio D'Aiello

Autorità di Distretto  
dott.ing. Massimo Morea  
arch. Fausto Marra;  
arch. Leonardo Morgera

### IL DIRIGENTE DELL'U.O. IDROLOGIA/IDRAULICA DELL'AUTORITA' DI DISTRETTO

**dott.ing. Giacinto Straniero**  
Responsabile attività di cui al Protocollo d'Intesa

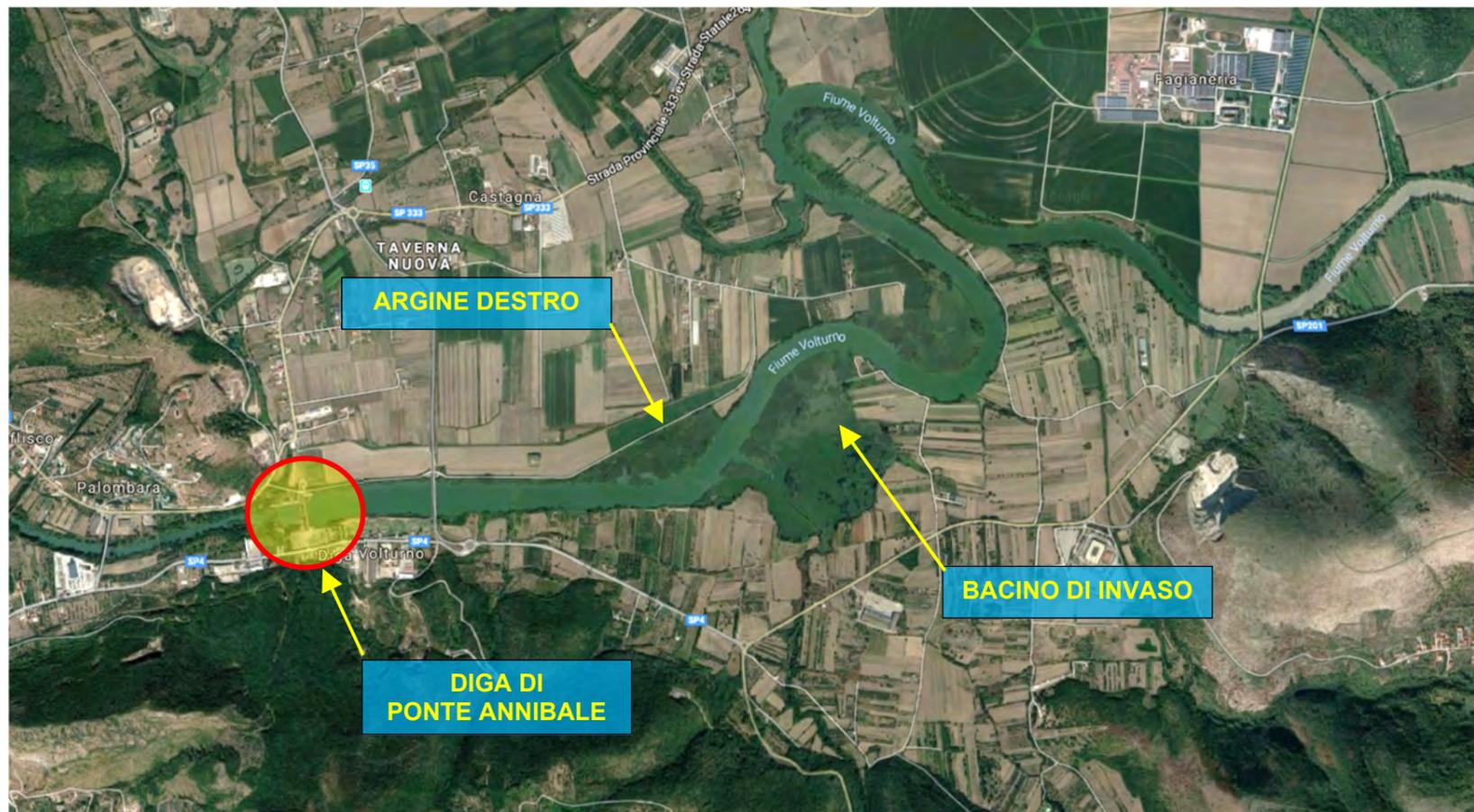
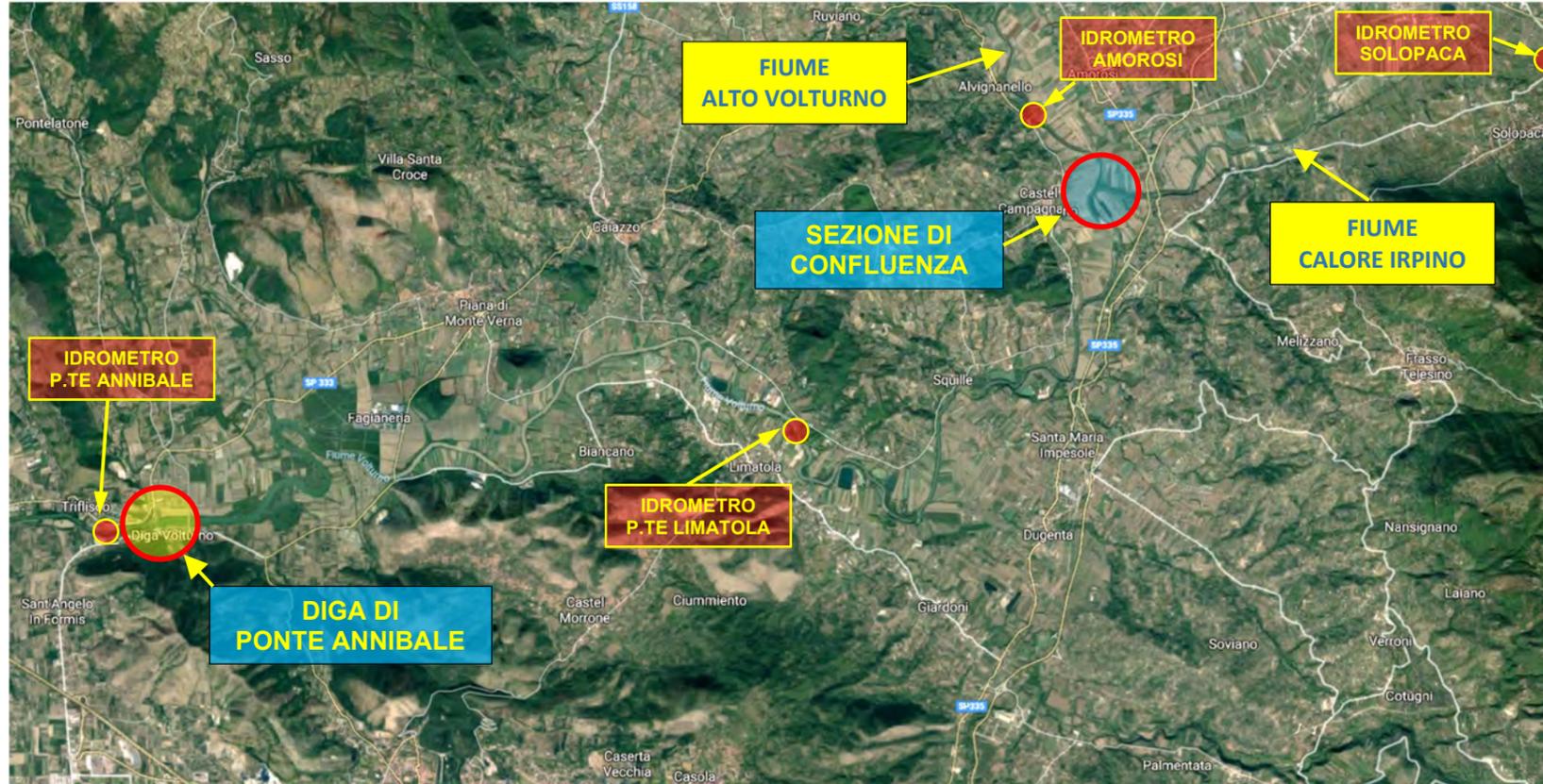


### DATI DELLA DIGA

- Altezza della traversa (ai sensi del D.M. n.44 24/03/1982): 27,00 m
- Altezza della traversa (ai sensi della Legge n.584 del 1994): 14,00 m
- **Altezza di massima ritenuta: 8,60 m**
- Franco (ai sensi del D.M. n.44 del 24/03/1982): 3,40 m (30,00-26,60)
- Franco netto (ai sensi del D.M. n.44 del 24/03/1982): 3,40 m (30,00-26,60)
- Sviluppo del coronamento: 76,00 m
- Quota di coronamento: 30,00 m s.l.m.
- Grado di sismicità assunto nella progettazione: S = 9
- Classifica ai sensi del D.M. n.44 del 24/03/1982: Traversa fluviale (D)
- **Classifica ai sensi del D.M. 26/06/2014: Traversa fluviale (C)**

### DATI DEL SERBATOIO (INVASO)

- **Quota di massimo invaso (massima raggiungibile): 26,60 m s.l.m.**
- **Quota di massima regolazione (soglia di sfioro): 26,50 m s.l.m.**
- Quota massima autorizzata: 26,50 m s.l.m.
- Quota minima di regolazione: 25,50 m s.l.m.
- Superficie dello specchio liquido, alla quota di max invaso: 2,30 km<sup>2</sup>
- Superficie dello specchio liquido, alla quota max di regol.: 2,30 km<sup>2</sup>
- Superficie dello specchio liquido, alla quota min di regol.: 2,00 km<sup>2</sup>
- Volume totale di invaso (D.M. n.44 del 24/03/1982): 7,60 Mm<sup>3</sup>
- Volume totale di invaso (Legge n.584 del 1994): 7,40 Mm<sup>3</sup>
- **Volume utile di regolazione: 2,20 Mm<sup>3</sup>**
- **Superficie del bacino imbrifero direttamente sotteso: 5.542 km<sup>2</sup>**
- **Portata di massima piena di progetto: 3.000 m<sup>3</sup>/s**

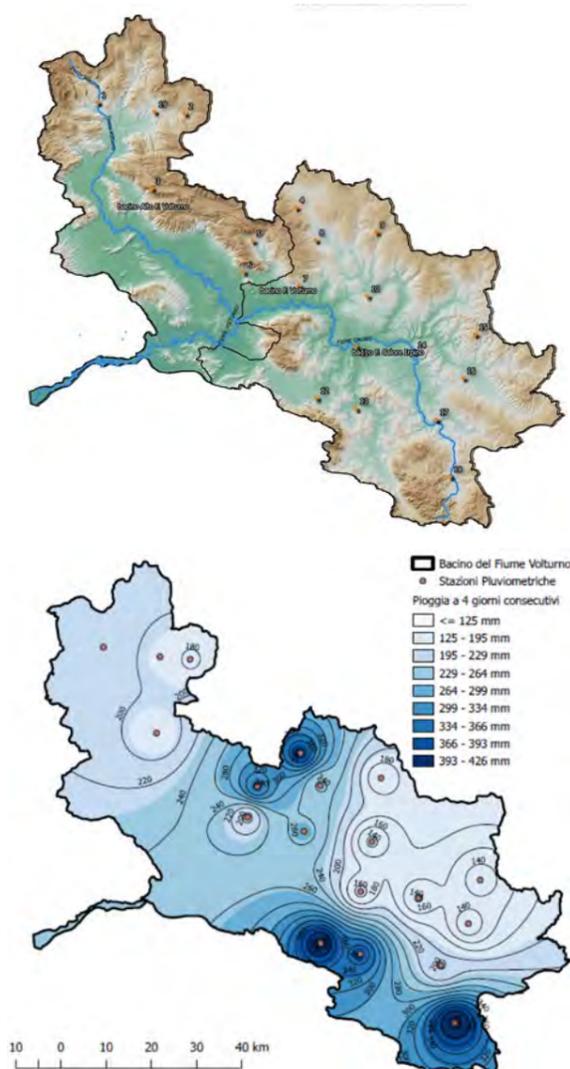


<b>S</b> bacino F. Volturno, a Ponte Annibale	<b>5.542 km<sup>2</sup></b>
<b>S</b> bacino F. Alto Volturno, ad Amorosi	<b>2.015 km<sup>2</sup></b>
<b>S</b> bacino F. Calore Irpino, a Solopaca	<b>2.966 km<sup>2</sup></b>
<b>D</b> stazione di Solopaca – sezione di confluenza	<b>11,2 km</b>
<b>D</b> stazione di Amorosi – sezione di confluenza	<b>3,5 km</b>
<b>D</b> sezione di confluenza – sezione di Ponte Annibale	<b>30,0 km</b>
<b>D</b> sezione di Ponte Annibale - foce	<b>60,0 km</b>

## STUDIO IDROLOGICO

In relazione alle “definizioni” e “prescrizioni normative” del vigente D.M. 26.06.2014, la valutazione delle portate e degli idrogrammi di piena associati a preassegnati valori del periodo di ritorno  $T = 50, 100, 200, 300, 350, 400, 450, 500$  e 1000 anni, utilizzati per le verifiche idrauliche, è stata effettuata secondo i seguenti passi, in dettaglio illustrati nei paragrafi che seguono:

1) **analisi ed elaborazione delle precipitazioni massime giornaliere, e cumulate in più giorni consecutivi (2, 3 e 4 gg), che si sono verificate nel corso dei “più significativi eventi di piena” registrati alla sezione della diga di Ponte Annibale**, prendendo a riferimento: dati ed elementi riportati nelle pubblicazioni del Servizio Idrografico Nazionale (eventi del 1935, 1949, 1952, 1961, 1964, 1968); dati ed elementi più recenti, sia registrati durante le attività di gestione della diga e sia pubblicati nei cosiddetti “Rapporti di Evento”, redatti a cura del Servizio di Protezione Civile della Regione Campania (eventi del 2005 e del 2015). Valutazione della distribuzione delle suddette precipitazioni piovose, sia a livello “puntuale”, in corrispondenza delle stazioni pluviometriche prese in esame e sia a livello “areale”, nell’ambito del bacino idrografico del F. Volturno alla sezione di Ponte Annibale e dei principali sottobacini idrografici dell’alto Fiume Volturno e del Fiume Calore Irpino, alla loro sezione di confluenza:



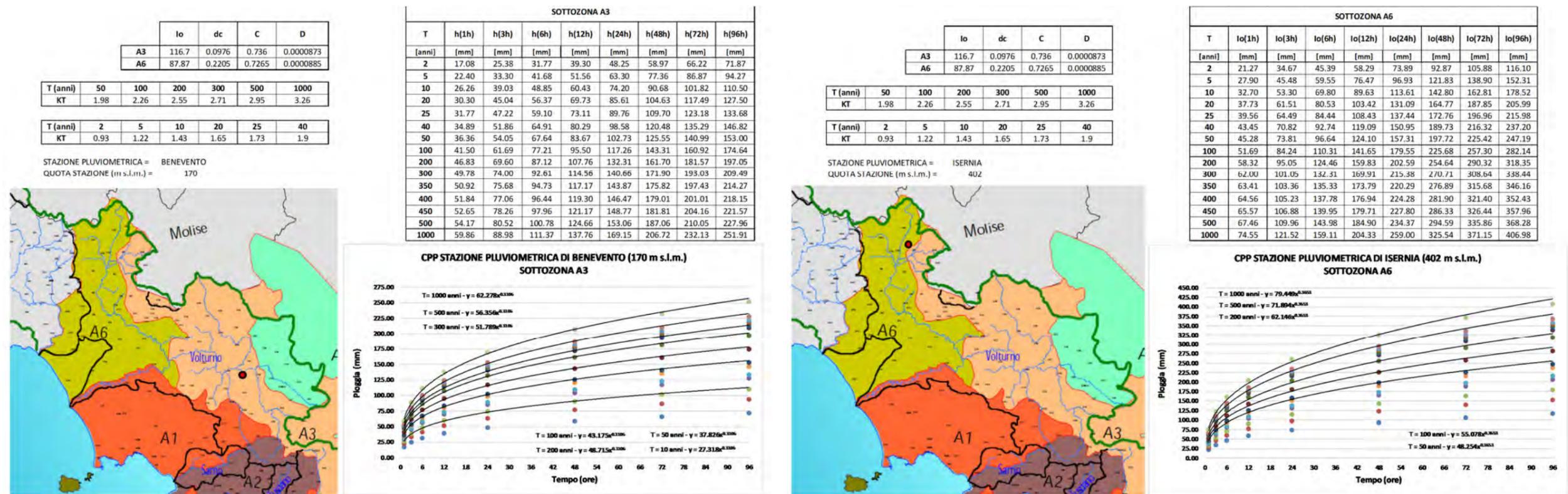
ANALISI ED ELABORAZIONE EVENTI DI PIENA STORICI														
						PONTE ANNIBALE (S=5.442 km <sup>2</sup> )		ALTO VOLTURNO (S=2.015 km <sup>2</sup> )		CALORE IRPINO (S=3.000 km <sup>2</sup> )				
ANNO	Bacino F. Calore	Bacino F. Alto Volturno	Differenza	Bacino F. Volturno	Q <sub>p,3</sub> Portata al colmo di piena	U <sub>3</sub> (colmo di piena)	Q <sub>p,2</sub> Portata al colmo di piena	U <sub>2</sub> (colmo di piena)	Q <sub>p,1</sub> Portata al colmo di piena	U <sub>1</sub> (colmo di piena)	Differenza	Somma picchi di piena	Riduzione picco di piena a Ponte Annibale	
	A <sub>media</sub>	A <sub>media</sub>	A <sub>media</sub>	A <sub>media</sub>	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s · km <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s · km <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s · km <sup>2</sup> ]	U <sub>2-1</sub>	Q <sub>p,2</sub> +Q <sub>p,1</sub>	[%]	
	[mm]	[mm]	[%]	[mm]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s · km <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s · km <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s · km <sup>2</sup> ]	[%]	[m <sup>3</sup> /s]	[%]	
1	1935	121.1	125.2	3.3	122.8	2290	0.413	580	0.288	1720	0.563	48.8%	2300	0.4%
2	1949	163.6	205.5	20.4	181.2	3200	0.577	1270	0.630	2200	0.720	12.5%	3470	7.8%
3	1952	100.7	162.2	37.9	126.5	2250	0.406	1027	0.510	1850**	0.610	16.4%	2877	21.8%
4	1961	149.9	173.7	13.7	159.9	1930	0.348	831	0.412	1870	0.668	38.3%	2701	28.5%
5	1964	86.8	121.6	28.6	101.4	1840	0.332	868	0.431	1700	0.573	24.8%	2568	28.3%
6	1968	238.7	225.2	5.7	233.1	3060	0.552	1460	0.725	2440	0.823	11.9%	3900	21.5%
7	2005	123.7	96.0	22.4	103.7	dato non disponibile	dato non disponibile	dato non disponibile	dato non disponibile	dato non disponibile				
8	2015	104.42	56.84	45.6	78.6	dato non disponibile	dato non disponibile	dato non disponibile	dato non disponibile	dato non disponibile				
				<b>18.3</b>	<b>media (1-6)</b>					<b>media</b>	<b>25.5%</b>	<b>media</b>	<b>18.1%</b>	
				<b>22.2</b>	<b>media (1-8)</b>									

Bacino F. Calore Irpino S = 3.000 km<sup>2</sup>      **18.3** media (1-6)  
 Bacino F. A. Volturno S = 2015 km<sup>2</sup>      **22.2** media (1-8)  
 Bacino F. Volturno S = 5.442 km<sup>2</sup>

Dati desunti dalle pubblicazioni del Servizio idrografico Nazionale (SIN)  
 Dati elaborati sulla base dei valori pluviometrici desunti dalle pubblicazioni del Servizio idrografico Nazionale  
 Dati elaborati sulla base dei valori pluviometrici desunti dalle pubblicazioni del Servizio di Protezione Civile regionale

2) **costruzione del modello idrologico di base** (bacini e sottobacini idrografici di riferimento, stazioni pluviometriche, metodologia di interpolazione dei dati di piovosità), in ambiente GIS, per la stima degli afflussi meteorici implementati nel modello di trasformazione afflussi-deflussi, **mediante:**

a) **per ciascuna stazione pluviometrica presa in esame, implementazione della metodologia “VAPI” ai fini della definizione delle CPP (Curve di Possibilità Pluviometrica) riferite a ciascuno dei preassegnati valori del periodo di ritorno T e calcolo delle altezze di pioggia per diverse preassegnate durate (1, 3, 6, 12, 24, 36, 48, 72 e 96 ore);**

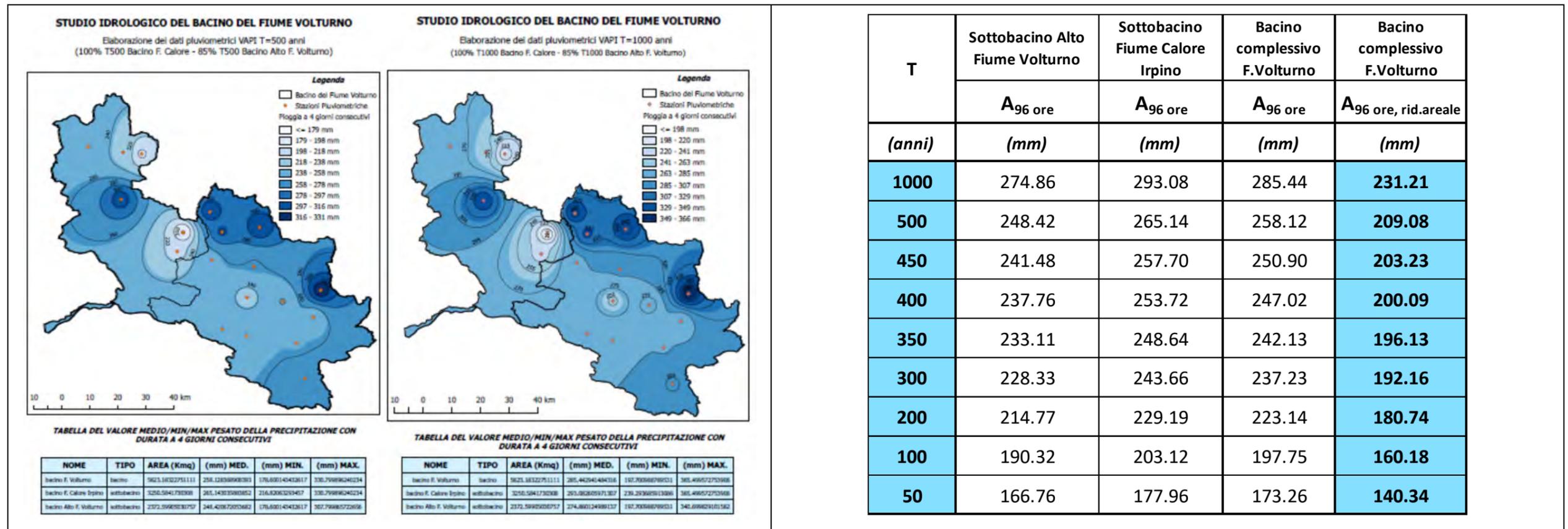


b) sulla scorta dei risultati delle analisi degli eventi di piena storici, come sopra citati, **definizione della “durata della pioggia critica” per il bacino complessivo del F. Volturno alla sezione di Ponte Annibale** (il cui valore è risultato essere **pari a 4 gg = 96 ore**);

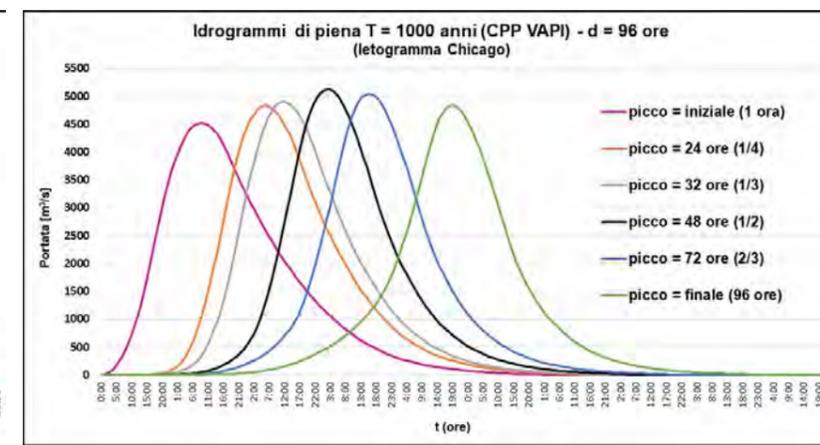
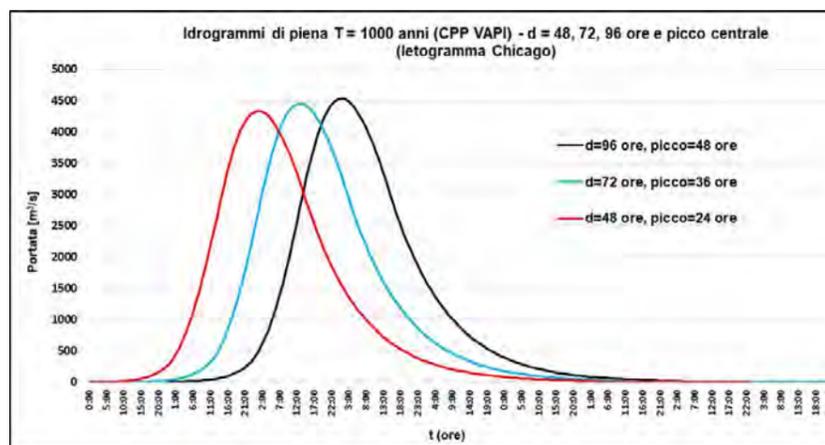
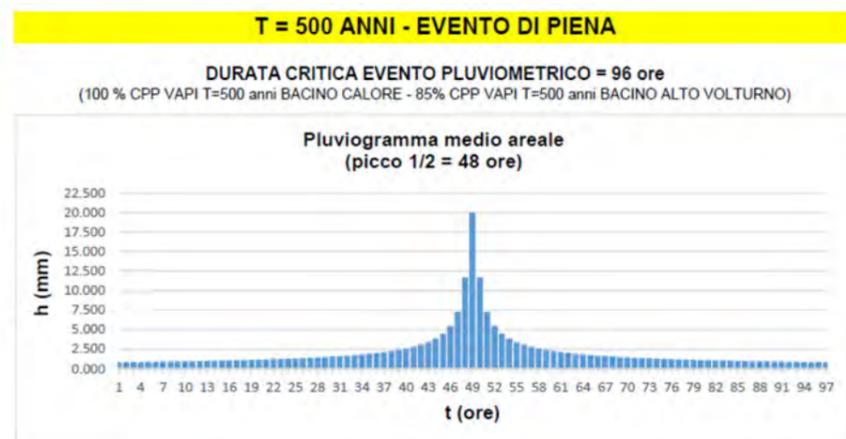
c) per ciascuno dei preassegnati valori del periodo di ritorno  $T = 50, 100, 200, 300, 350, 400, 450, 500$  e  $1000$  anni, implementazione del modello idrologico di base ai fini della stima degli afflussi meteorici da implementare nel modello di trasformazione afflussi-deflussi, mediante:

- **assegnazione, a ciascuna stazione pluviometrica presa in esame, della massima altezza di precipitazione cumulata a 96 ore, desunta dalle CPP preliminarmente definite.** L'ipotesi implicitamente assunta è che ogni stazione pluviometrica presa in esame coincida con il centro di scroscio ovvero che tutti i pluviometri misurino, contemporaneamente ed in maniera costante, i massimi valori di precipitazione ottenuti dalle CPP. Con riferimento all'algoritmo matematico di determinazione del cosiddetto “solido di pioggia”, ulteriore ipotesi assunta è stata quella di considerare, per le stazioni pluviometriche ricadenti nel sottobacino del F. Calore Irpino, il 100% del valore di precipitazione massima desunta dalle CPP e per le stazioni pluviometriche ricadenti nel sottobacino dell'alto F. Volturno, l'85% del valore di precipitazione massima desunta dalle CPP. Tale ipotesi è stata formulata in relazione alla riscontrata maggiore propensione del bacino del F. Calore a generare deflussi di piena. Tale caratteristica è stata, di fatto, riscontrata dall'analisi degli afflussi meteorici e dei contributi idrometrici registrati nel corso degli eventi di piena storici del Fiume Volturno a Ponte Annibale che ha evidenziato, per la totalità dei casi esaminati, a fronte di una piovosità media cumulata afferente al sottobacino del F. Calore Irpino minore della piovosità media cumulata relativa al sottobacino dell'alto F. Volturno, con differenze in media pari a circa il 20%, **maggiori deflussi di piena generati dal F. Calore, in termini di “contributo unitario” ( $m^3/s \cdot km^2$ ), in media dell'ordine del 30%** come indicato nella tabella sopra riportata. Ulteriore elemento di cui si è tenuto conto, in termini di diversificazione della “risposta idrologica” tra i sottobacini del F. Calore e dell'Alto Fiume Volturno, attiene alle caratteristiche morfologiche dell'alveo di piena dell'Alto Fiume Volturno che, rispetto a quelle del Fiume Calore Irpino, presenta aree alluvionali più estese, con conseguente maggiore propensione dell'alveo del corso d'acqua afferente ad “attenuare” portate e volumi di piena.
- **interpolazione areale dei valori di precipitazione puntuale implementati come sopra descritto, in ambiente GIS e tramite metodologia “Spatial Analysis – Inverse Distance Weighting (IDW)”**, con creazione delle superfici statistiche della pioggia e tracciamento delle relative curve isoiete;

- calcolo del valore di pioggia media areale cumulata a 4 gg, ponderato rispetto alle superfici del bacino complessivo del F. Volturno, alla sezione di Ponte Annibale ed alle superfici dei sottobacini, alla sezione di confluenza dell'alto F. Volturno e del Fiume Calore Irpino. Atteso che i centri di scroscio non risultano fissi sull'areale interessato ma si spostano nel tempo, riducendo anche la loro intensità, per tenere conto (mediando) di questa variabilità spaziale e di intensità della precipitazione il suddetto valore della precipitazione media areale cumulata è stato, poi, ridotto mediante l'introduzione del coefficiente di riduzione (ragguaglio) areale, utilizzando la formulazione contemplata nel "VAPI Campania";



d) per ciascun valore del periodo di ritorno T, nota l'altezza di precipitazione media areale cumulata a 4 gg, relativa al bacino del F. Volturno alla sezione di Ponte Annibale, la rappresentazione della variabilità temporale nelle 96 ore della massima altezza di precipitazione cumulata così come calcolata è stata effettuata mediante l'impiego di uno "ietogramma Chicago discreto" (Chu e Keifer nel 1957), con passo temporale  $\Delta t = 1$  ora e picco di pioggia centrale (48 ore, avendo verificato che il picco a 48 ore fornisce l'idrogramma e la portata al colmo di piena più gravosi), utilizzando i parametri medi delle CPP definite per le stazioni pluviometriche prese in esame; Per la valutazione delle portate e degli idrogrammi di piena, associati ad assegnati valori del periodo di ritorno, si è reso necessario definire la distribuzione temporale dell'afflusso massimo cumulato a 4 giorni ottenuto, ovvero caratterizzare lo "ietogramma" di riferimento, mediante il quale riprodurre "sinteticamente" l'evento pluviometrico che massimizza la portata al colmo di piena. Nel caso in esame, come detto, la durata dell'evento pluviometrico di riferimento, che massimizza portate e volumi di piena, è stata assunta pari a 96 ore (4 giorni). L'altezza di pioggia totale ragguagliata A, per ciascun valore del periodo di ritorno, è stata stimata mediante l'utilizzo delle curve di possibilità pluviometrica (CPP). Allo ietogramma di riferimento definito è stato associato il tempo di ritorno che caratterizza le CPP utilizzate per costruirlo; lo stesso valore di tempo di ritorno è stato attribuito alle portate al colmo ed agli idrogrammi di piena che ne sono scaturiti. Per le finalità del presente studio, mediante apposite simulazioni, è stato appurato che la durata dell'evento pluviometrico di riferimento pari a 96 ore (4 gg) ed il posizionamento centrale del picco (a 48 ore) forniscono l'idrogramma e la portata al colmo di piena più gravosi, come si evince dalle figure che seguono:



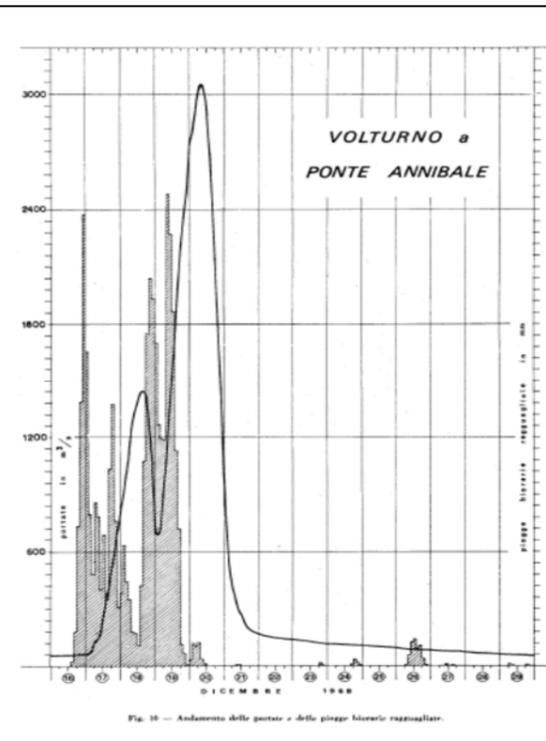
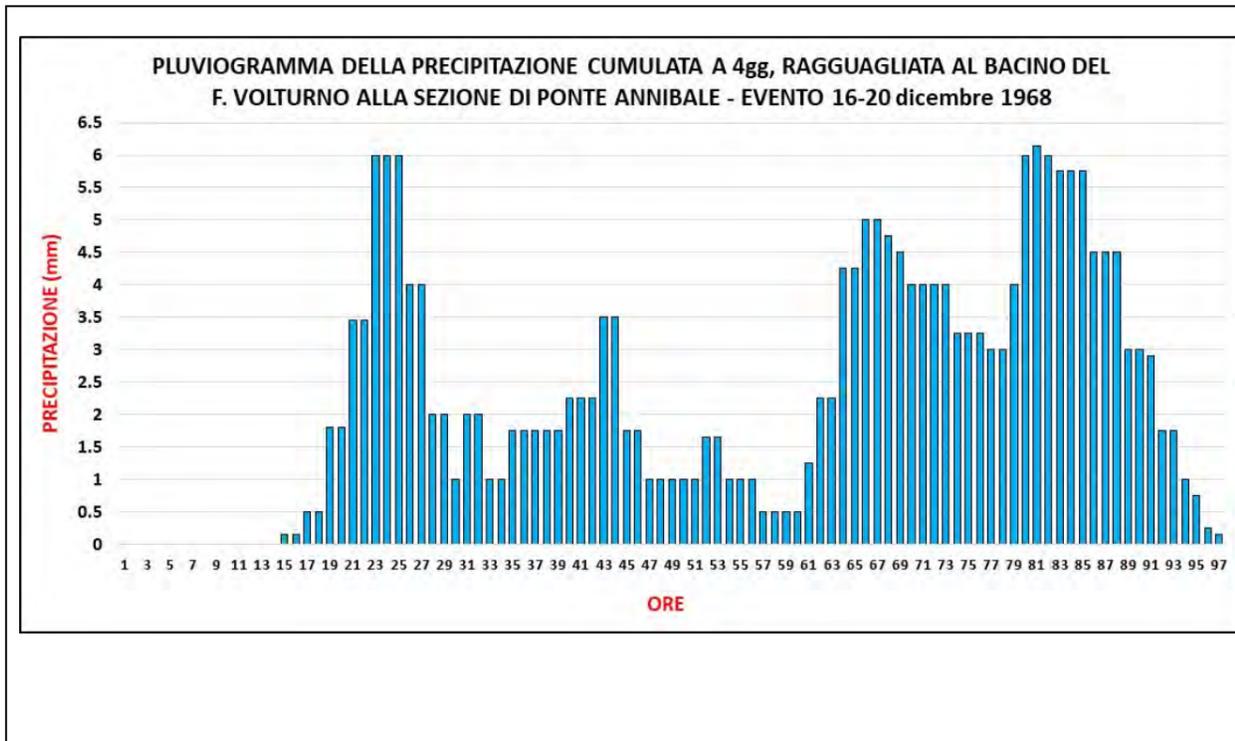
e) per ciascuno dei preassegnati valori del periodo di ritorno  $T = 50, 100, 200, 300, 350, 400, 450, 500$  e  $1000$  anni, implementazione del modello idrologico di trasformazione degli afflussi in deflussi e definizione delle portate e degli idrogrammi di piena, mediante l'impiego del software **HEC-HMS** (*Hydrological Engineering Center – Hydrologic Modeling System*), sviluppato dall'United States Army Corps of Engineering (USACE). Nel software è stata utilizzata una schematizzazione del bacino idrografico complessivo del F. Volturno, sotteso dalla sezione della diga di Ponte Annibale, a "parametri costanti". Le principali componenti implementate per la schematizzazione del comportamento del bacino idrografico hanno riguardato: il calcolo della pioggia efficace; la trasformazione afflussi-deflussi; la propagazione della piena. Come dato di input meteorico sono stati utilizzati gli idrogrammi ottenuti applicando IUH Chicago sopra citato.

Per il calcolo della pioggia efficace, simulando le perdite per infiltrazione, è stato utilizzato il metodo (*loss method*) della "perdita iniziale e costante" (*deficit and constant*), considerando: perdita iniziale = 0 mm; perdita costante = 1,3 mm; percentuale di bacino impermeabile = 1%. L'aliquota di precipitazione che non viene coinvolta nelle varie perdite idrologiche e la pioggia che cade sulle aree impermeabili costituiscono la precipitazione efficace. Questa dà origine allo scorrimento superficiale e, muovendosi attraverso il bacino idrografico verso la sezione di chiusura, genera l'idrogramma di piena. Per la trasformazione afflussi-deflussi è stato utilizzato il **metodo dell'idrogramma unitario del Soil Conservation Service (SCS Unit Hydrograph)**, con utilizzo di un "Graph Type" = Standard (PRF 484) e di un tempo del bacino "*Lag Time*" = **1500 minuti (25 ore)**.

L'utilizzo dei parametri e dei criteri innanzi citati è stata ottenuta a seguito di vari test di simulazione, effettuati al fine di pervenire ad una ottimale taratura del modello. A base del processo di calibrazione del modello sono stati presi a riferimento:

- l'evento pluvio-idrometrico verificatosi in occasione della piena eccezionale del 17-20 dicembre 1968, per il quale si è potuto fare riferimento ad una serie di dati pluviometrici ed idrometrici accurati e completi, elaborati dall'ex "Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale" (SIMN) e raccolti in apposita pubblicazione allegata alla "Parte II dell'Annale Idrologico del 1968 - Sezione F - Indagini, studi idrologici ed eventi di carattere eccezionale";
- l'evento pluvio-idrometrico verificatosi in occasione della piena del 4-7 marzo 2005, per il quale si è potuto fare riferimento ad una serie di dati ed elaborazioni numeriche svolte dai tecnici del "Servizio di Protezione Civile – Centro Funzionale per la previsione meteorologica e il monitoraggio meteo pluvio idrometrico e delle frane" della Regione Campania, e raccolte in apposita pubblicazione intitolata "Rapporto d'evento 4-5 marzo 2005 nel territorio della Regione Campania".

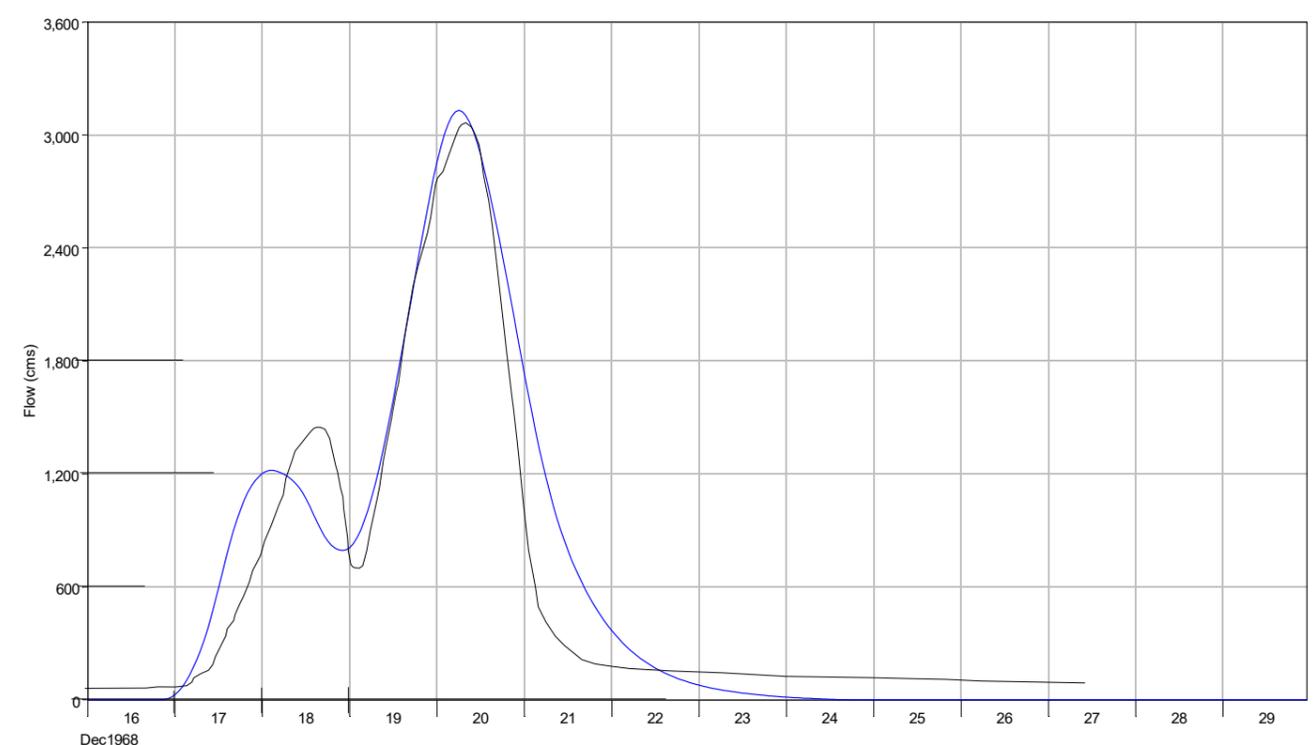
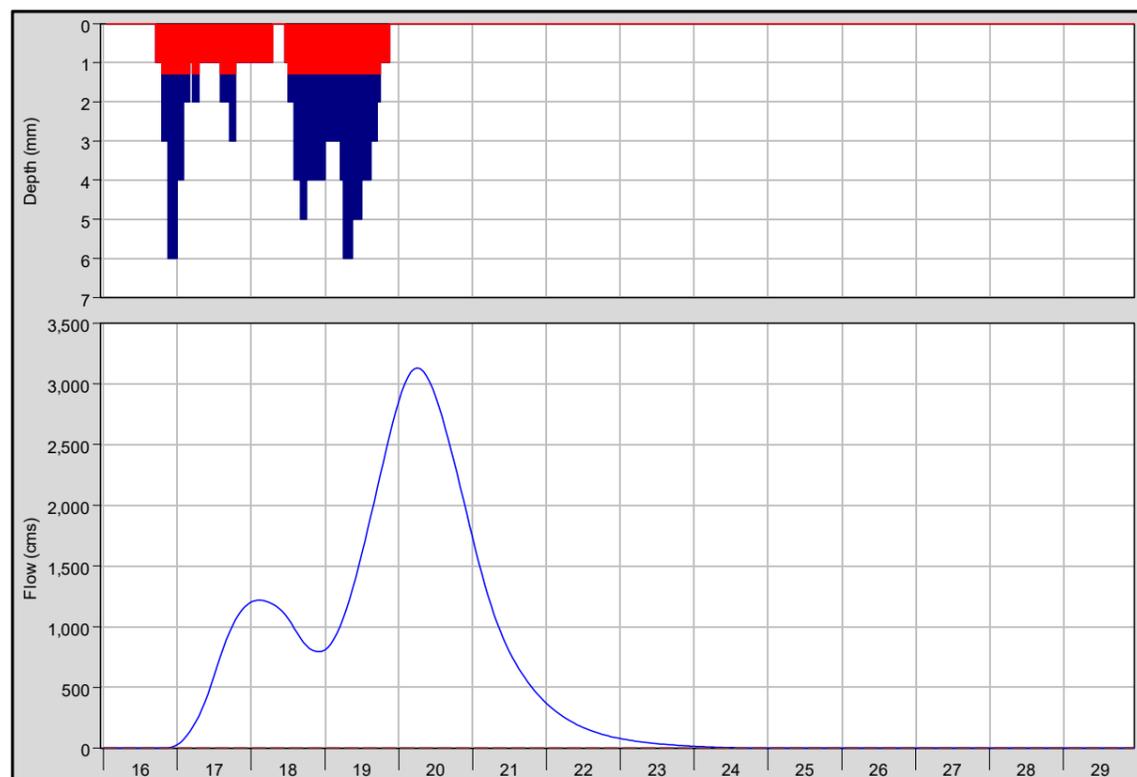
In relazione **all'evento del 1968**, è stato possibile fare riferimento all'andamento delle piogge e delle portate verificatesi sul bacino del Fiume Volturno, ed in particolare al grafico delle "piogge biorarie ragguagliate" ed all'idrogramma di piena del Fiume Volturno (unico esistente) calcolati alla sezione di Ponte Annibale, come di seguito riportato (rif. Fig.10 – pag.97 della Pubblicazione). In relazione **all'evento del 2005**, è stato possibile fare riferimento alle "caratteristiche della risposta idrologica" dei principali sottobacini del Fiume Volturno, ed in particolare ai dati numerici riportati al paragrafo 4.3 – pag.56 del citato "Rapporto di evento" pubblicato dal Servizio di Protezione civile della Regione Campania.



Bacino idrografico	Afflussi (m <sup>3</sup> )
<i>VOLTURNO ad Amorosi</i>	135.641.500
<i>TAMMARO a Paduli</i>	45.666.720
<i>CALORE a Benevento</i>	114.564.800
<i>CALORE a Solopaca</i>	202.066.320
<i>VOLTURNO a Grazzanise</i>	418.047.760

Bacino idrografico	Area [km <sup>2</sup> ]	$\phi$ [mm/h]	tr [h]
<i>VOLTURNO ad Amorosi</i>	2024	2.10	21,9
<i>TAMMARO a Paduli</i>	670	2.24	8,6
<i>CALORE a Benevento</i>	2046	0.97	12,6
<i>CALORE a Solopaca</i>	2967	1.71	14,8
<i>VOLTURNO a Grazzanise</i>	5544	2.02	32,9

Alla luce dei risultati ottenuti, le simulazioni di taratura sono state condotte variando solo il valore del tasso di infiltrazione. Con valore pari a 1,30 mm/h, è stato ottenuto il risultato che ha mostrato il migliore adattamento all'idrogramma di piena misurato a Ponte Annibale nel 1968. In particolare, come evidenziato dalla figura che segue, il confronto con questo ultimo ha mostrato un buon adattamento del modello HEC-HMS ai dati registrati, evidenziando (trascurando il deflusso di base): una sostanziale equivalenza nella forma dell'idrogramma, con la presenza dei due colmi di piena ed una equivalente distanza temporale tra l'inizio della fase ascendente dell'idrogramma e la fine della fase discendente (pari a circa 5,5 giorni); una distanza tra i due colmi di piena dell'ordine delle 50 ore [18 dic - ore 3:00 - Q = 1220 m<sup>3</sup>/s; 20 dic - ore 6:00 Q = 3130,2 m<sup>3</sup>/s]; una lieve sottostima (15,3%) del valore della portata corrispondente al primo "colmo" [1220 m<sup>3</sup>/s simulati, rispetto ai 1440 m<sup>3</sup>/s misurati]; una lieve sovrastima (2,3%) del valore della portata corrispondente al secondo "colmo" [3130 m<sup>3</sup>/s simulati, rispetto ai 3060 m<sup>3</sup>/s misurati]; un valore simulato del volume complessivo pari a 615,4 milioni di metri cubi, superiore del 5,2% al volume misurato (pari a 585 Mm<sup>3</sup>).



Per ciascun valore del periodo di ritorno  $T = 50, 100, 200, 300, 350, 400, 450, 500$  e  $1000$  anni, si è proceduto alla implementazione del modello idrologico di trasformazione degli afflussi in deflussi come sopra definito e tarato, pervenendo alla stima delle portate e degli idrogrammi di piena, poi implementati nel modello idraulico ai fini della rivalutazione della sicurezza idrologica-idraulica della diga. La sintesi dei risultati delle suddette elaborazioni è di seguito riportata:

### T = 1000 ANNI - EVENTO DI PIENA

IDROMETRIA	S	Q <sub>picco</sub>	Volume afflusso	Volume deflusso	Volume afflusso	Volume deflusso	Cf	U <sub>picco</sub>
	(km <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /s)	(1000 m <sup>3</sup> )	(1000 m <sup>3</sup> )	(mm)	(mm)	-	(m <sup>3</sup> /s*km <sup>2</sup> )
BACINO F.VOLTURNO (Sez. P.te Annibale)	5542	4677.9	1281565.30	644979.4	231.2	116.4	0.503	0.844

PLUVIOMETRIA	h <sub>m, Calore</sub>	h <sub>m, A.Volturno</sub>	h <sub>m, Volturno</sub>	K <sub>A</sub> (96h)	h <sub>m, areale</sub>
BACINO F.VOLTURNO (Sez. P.te Annibale)	[mm]	[mm]	[mm]	[VAPI]	[mm]
	293.1	274.9	285.4	0.81	231.2

### T = 500 ANNI - EVENTO DI PIENA

IDROMETRIA	S	Q <sub>picco</sub>	Volume afflusso	Volume deflusso	Volume afflusso	Volume deflusso	Cf	U <sub>picco</sub>
	(km <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /s)	(1000 m <sup>3</sup> )	(1000 m <sup>3</sup> )	(mm)	(mm)	-	(m <sup>3</sup> /s*km <sup>2</sup> )
BACINO F.VOLTURNO (Sez. P.te Annibale)	5542	4031.7	1159131.50	545918.4	209.1	98.51	0.471	0.727

PLUVIOMETRIA	h <sub>m, Calore</sub>	h <sub>m, A.Volturno</sub>	h <sub>m, Volturno</sub>	K <sub>A</sub> (96h)	h <sub>m, areale</sub>
BACINO F.VOLTURNO (Sez. P.te Annibale)	[mm]	[mm]	[mm]	[VAPI]	[mm]
	265.1	248.4	258.1	0.81	209.1

### T = 400 ANNI - EVENTO DI PIENA

IDROMETRIA	S	Q <sub>picco</sub>	Volume afflusso	Volume deflusso	Volume afflusso	Volume deflusso	Cf	U
	(km <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /s)	(1000 m <sup>3</sup> )	(1000 m <sup>3</sup> )	(mm)	(mm)	-	(m <sup>3</sup> /s*km <sup>2</sup> )
BACINO F.VOLTURNO (Sez. P.te Annibale)	5542	3841.1	1109120.50	512334.2	200.1	92.5	0.462	0.693

PLUVIOMETRIA	h <sub>m, Calore</sub>	h <sub>m, A.Volturno</sub>	h <sub>m, Volturno</sub>	K <sub>A</sub> (96h)	h <sub>m, areale</sub>
BACINO F.VOLTURNO (Sez. P.te Annibale)	[mm]	[mm]	[mm]	[VAPI]	[mm]
	253.7	237.8	247.0	0.81	200.1

### T = 350 ANNI - EVENTO DI PIENA

IDROMETRIA	S	Q <sub>picco</sub>	Volume afflusso	Volume deflusso	Volume afflusso	Volume deflusso	Cf	U
	(km <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /s)	(1000 m <sup>3</sup> )	(1000 m <sup>3</sup> )	(mm)	(mm)	-	(m <sup>3</sup> /s*km <sup>2</sup> )
BACINO F.VOLTURNO (Sez. P.te Annibale)	5542	3699.5	1086819.5	493259.3	196.1	89.0	0.454	0.668

PLUVIOMETRIA	h <sub>m, Calore</sub>	h <sub>m, A.Volturno</sub>	h <sub>m, Volturno</sub>	K <sub>A</sub> (96h)	h <sub>m, areale</sub>
BACINO F.VOLTURNO (Sez. P.te Annibale)	[mm]	[mm]	[mm]	[VAPI]	[mm]
	248.6	233.1	242.1	0.81	196.1

### T = 300 ANNI - EVENTO DI PIENA

IDROMETRIA	S	Q <sub>picco</sub>	Volume afflusso	Volume deflusso	Volume afflusso	Volume deflusso	Cf	U
	(km <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /s)	(1000 m <sup>3</sup> )	(1000 m <sup>3</sup> )	(mm)	(mm)	-	(m <sup>3</sup> /s*km <sup>2</sup> )
BACINO F.VOLTURNO (Sez. P.te Annibale)	5542	3598	1064540.60	477531.4	192.1	86.2	0.449	0.649

PLUVIOMETRIA	h <sub>m, Calore</sub>	h <sub>m, A.Volturno</sub>	h <sub>m, Volturno</sub>	K <sub>A</sub> (96h)	h <sub>m, areale</sub>
BACINO F.VOLTURNO (Sez. P.te Annibale)	[mm]	[mm]	[mm]	[VAPI]	[mm]
	243.7	228.3	237.2	0.81	192.1

### T = 200 ANNI - EVENTO DI PIENA

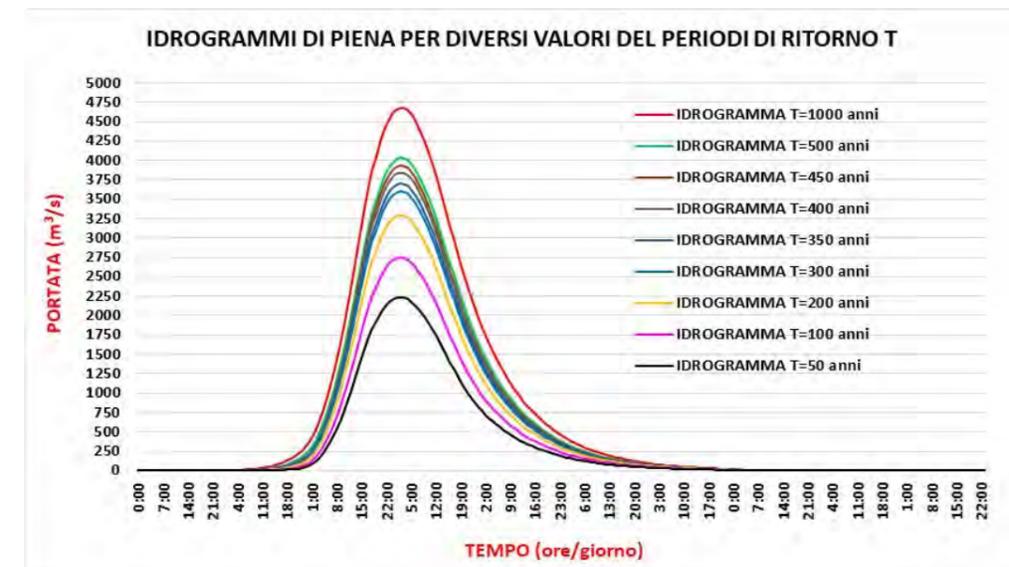
IDROMETRIA	S	Q <sub>picco</sub>	Volume afflusso	Volume deflusso	Volume afflusso	Volume deflusso	Cf	U
	(km <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /s)	(1000 m <sup>3</sup> )	(1000 m <sup>3</sup> )	(mm)	(mm)	-	(m <sup>3</sup> /s*km <sup>2</sup> )
BACINO F.VOLTURNO (Sez. P.te Annibale)	5542	3290.9	1001505.90	432372.0	180.7	78.02	0.432	0.594

PLUVIOMETRIA	h <sub>m, Calore</sub>	h <sub>m, A.Volturno</sub>	h <sub>m, Volturno</sub>	K <sub>A</sub> (96h)	h <sub>m, areale</sub>
BACINO F.VOLTURNO (Sez. P.te Annibale)	[mm]	[mm]	[mm]	[VAPI]	[mm]
	229.2	214.8	223.1	0.81	180.7

### T = 100 ANNI - EVENTO DI PIENA

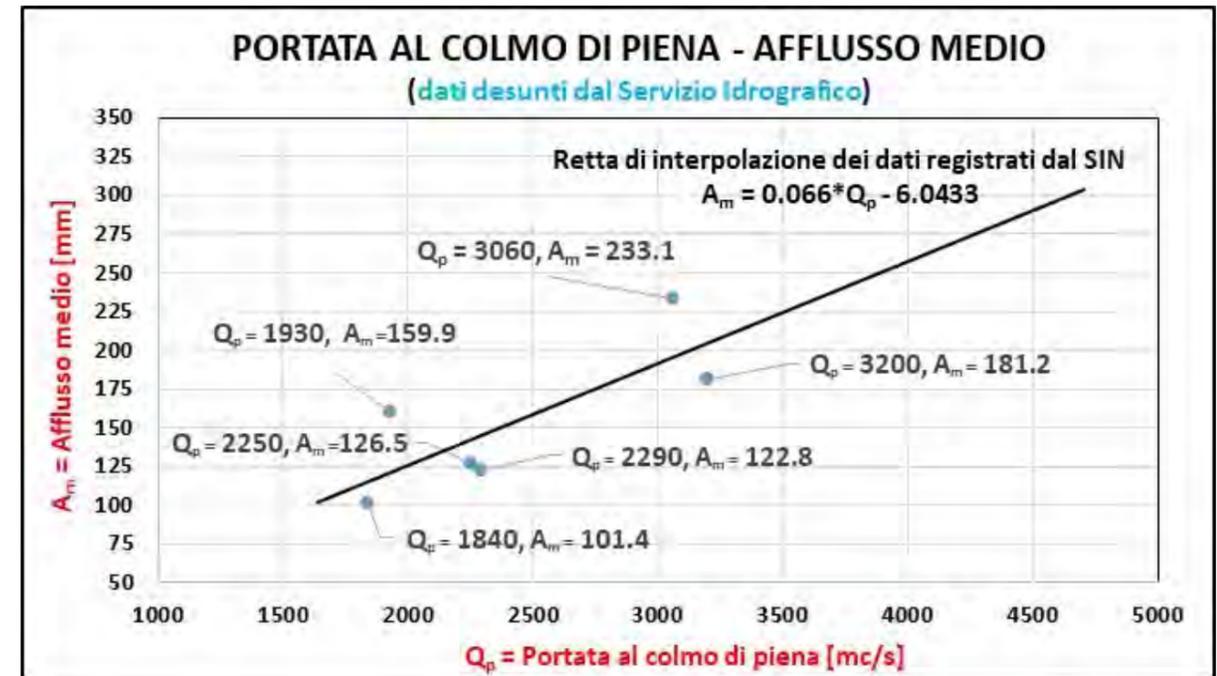
IDROMETRIA	S	Q <sub>picco</sub>	Volume afflusso	Volume deflusso	Volume afflusso	Volume deflusso	Cf	U <sub>picco</sub>
	(km <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /s)	(1000 m <sup>3</sup> )	(1000 m <sup>3</sup> )	(mm)	(mm)	-	(m <sup>3</sup> /s*km <sup>2</sup> )
BACINO F.VOLTURNO (Sez. P.te Annibale)	5542	2749.9	888072.20	355325.3	160.2	64.11	0.400	0.496

PLUVIOMETRIA	h <sub>m, Calore</sub>	h <sub>m, A.Volturno</sub>	h <sub>m, Volturno</sub>	K <sub>A</sub> (96h)	h <sub>m, areale</sub>
BACINO F.VOLTURNO (Sez. P.te Annibale)	[mm]	[mm]	[mm]	[VAPI]	[mm]
	203.1	190.3	197.8	0.81	160.2

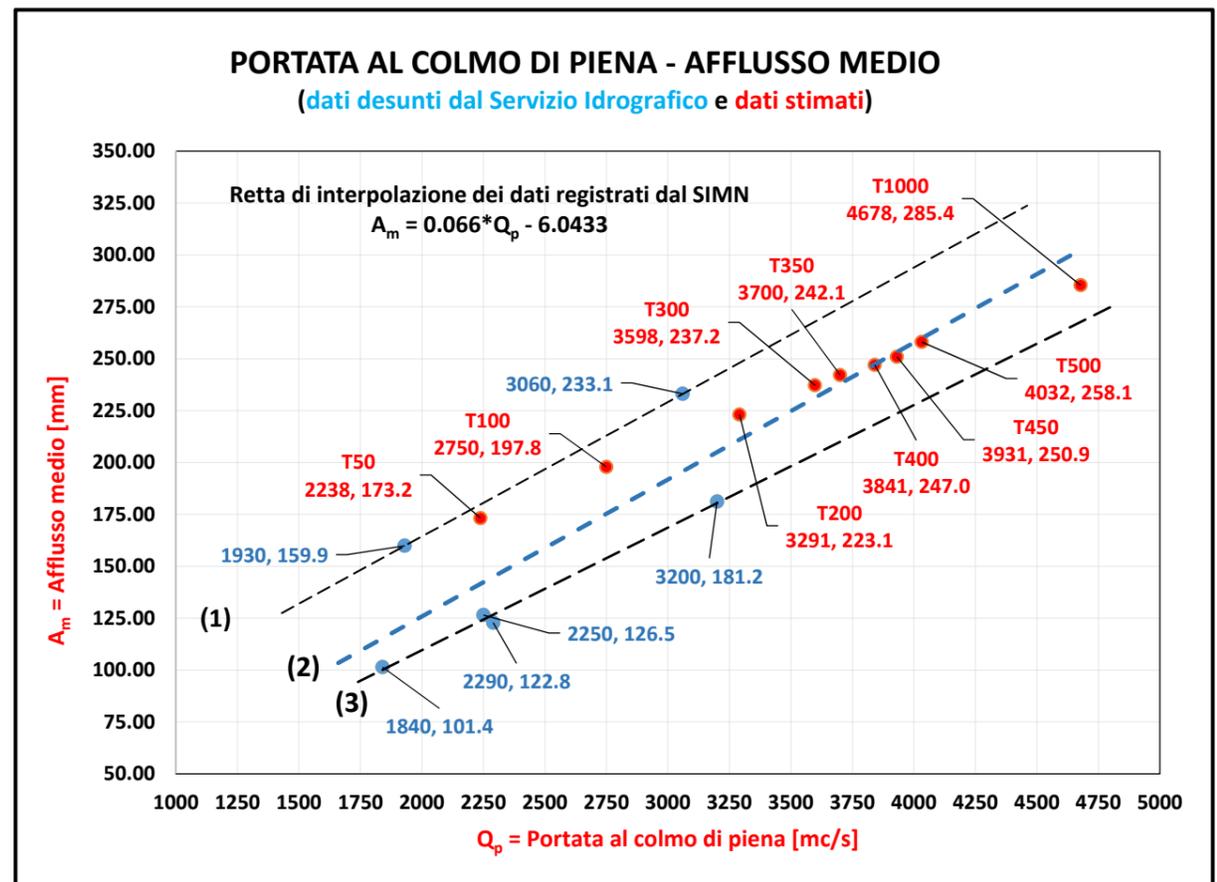


## SINTESI DEI RISULTATI

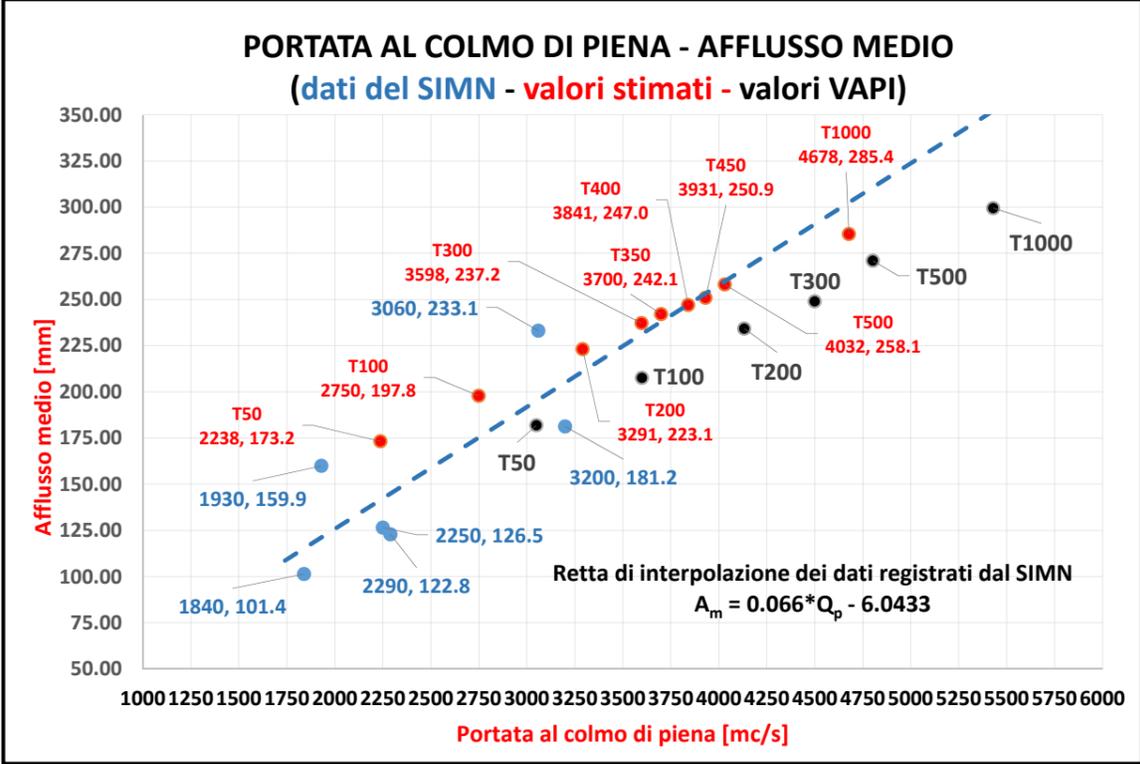
Valori ottenuti con la retta di interpolazione, noto l'Afflusso	Dati del Servizio Idrografico Nazionale (SIMN)				
	Anno	Portata al colmo di piena	U (colmo di piena)	Afflusso medio (bacino F.Volturno)	Errore percentuale rispetto alla retta di interpolazione
[m <sup>3</sup> /s]		[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s·km <sup>2</sup> ]	[mm]	[%]
1952	1935	2290	0.413	122.8	14.8
2837	1949	3200	0.577	181.2	11.3
2008	1952	2250	0.406	126.5	10.7
2514	1961	1930	0.348	159.9	-30.3
1628	1964	1840	0.332	101.4	11.5
3623	1968	3060	0.552	233.1	-18.4



Valori ottenuti con la retta di interpolazione, noto l'Afflusso	Dati stimati con il modello afflussi - deflussi				
	Tempo di ritorno	Portata al colmo di piena	U (colmo di piena)	Afflusso medio (bacino F.Volturno)	Errore percentuale rispetto alla retta di interpolazione
[m <sup>3</sup> /s]	[anni]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s·km <sup>2</sup> ]	[mm]	[%]
4416	T1000	4678	0.844	285.4	5.6
4002	T500	4032	0.727	258.1	0.7
3893	T450	3931	0.709	250.9	1.0
3834	T400	3841	0.693	247.0	0.2
3760	T350	3700	0.668	242.1	-1.6
3686	T300	3598	0.649	237.2	-2.4
3472	T200	3291	0.594	223.1	-5.5
3089	T100	2750	0.496	197.8	-12.3
2716	T50	2238	0.404	173.2	-21.3



Valori ottenuti con la retta di interpolazione, noto l'Afflusso	Dati stimati con il modello VAPI				
	Tempo di ritorno	Portata al colmo di piena	U (colmo di piena)	Afflusso medio (bacino F.Volturno)	Errore percentuale rispetto alla retta di interpolazione
[m <sup>3</sup> /s]	[anni]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s·km <sup>2</sup> ]	[mm]	[%]
4628	1000	5430	0.980	299.42	14.8
4197	500	4803	0.867	270.95	12.6
3864	300	4500	0.812	248.99	14.1
3640	200	4133	0.746	234.21	11.9
3237	100	3600	0.650	207.57	10.1
2847	50	3050	0.550	181.86	6.7



L'analisi degli eventi storici di piena del 1935, 1949, 1952, 1961, 1964 e del 1968, ed in particolare dei valori delle portate al colmo di piena registrati, ha evidenziato come i valori di portata al colmo di piena misurati alla sezione di Ponte Annibale (per dinamiche di sovrapposizione di eventi di piena e processi idrodinamici di diffusione/laminazione delle piene) siano risultati inferiori, in media del 15-20%, alla somma dei colmi di piena registrati alla sezione di confluenza tra il Calore Irpino e l'Alto Volturno, come da tabella che segue. Ad analoghi risultati numerici, se traducibili in termini di "dinamiche di sovrapposizione e diffusione di eventi di piena", si giunge se si esaminano i valori delle portate al colmo di piena stimati con la metodologia VAPI. I valori di portata al colmo di piena stimati dal VAPI alla sezione di Ponte Annibale risultino inferiori, in media del 15,6%, alla somma delle portate al colmo di piena stimate alla sezione di confluenza per il Calore Irpino e per l'Alto Volturno, come da tabella che segue.

Corso d'acqua e Stazione		Bacino (km <sup>2</sup> )	Eventi storici di Piena (Dati del Servizio Idrografico)					Media
			1935	1949	1961	1964	1968	
			Portata al colmo di piena (m <sup>3</sup> /s)	Portata al colmo di piena (m <sup>3</sup> /s)	Portata al colmo di piena (m <sup>3</sup> /s)	Portata al colmo di piena (m <sup>3</sup> /s)	Portata al colmo di piena (m <sup>3</sup> /s)	
1	Volturno ad Amorosi	2015	580	1270	831	868	1460	
2	Calore Irpino a Ponte	2800	-	-	1870	-	-	
3A	Calore Irpino a Solopaca	2966	-	-	-	1700	2440	
3B	Calore Irpino a Melizzano	3057	1720	2200	-	-	-	
4	Volturno a Ponte Annibale	5542	2290	3200	2250	1840	3060	
Somma 1+2 (o 1+3A o 1+3B)			2300	3470	2701	2568	3900	<b>Media</b>
Riduzione percentuale del colmo di piena rispetto alla sezione di P.te Annibale			0.4%	7.8%	16.7%	28.3%	21.5%	<b>15.0%</b>

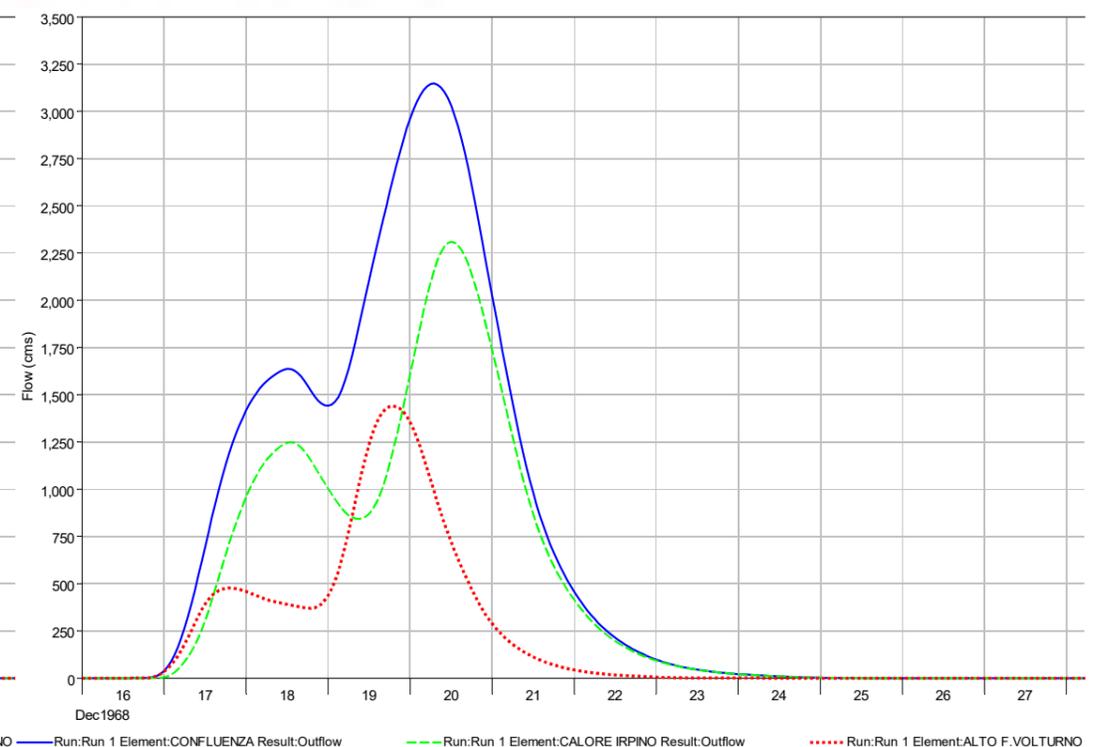
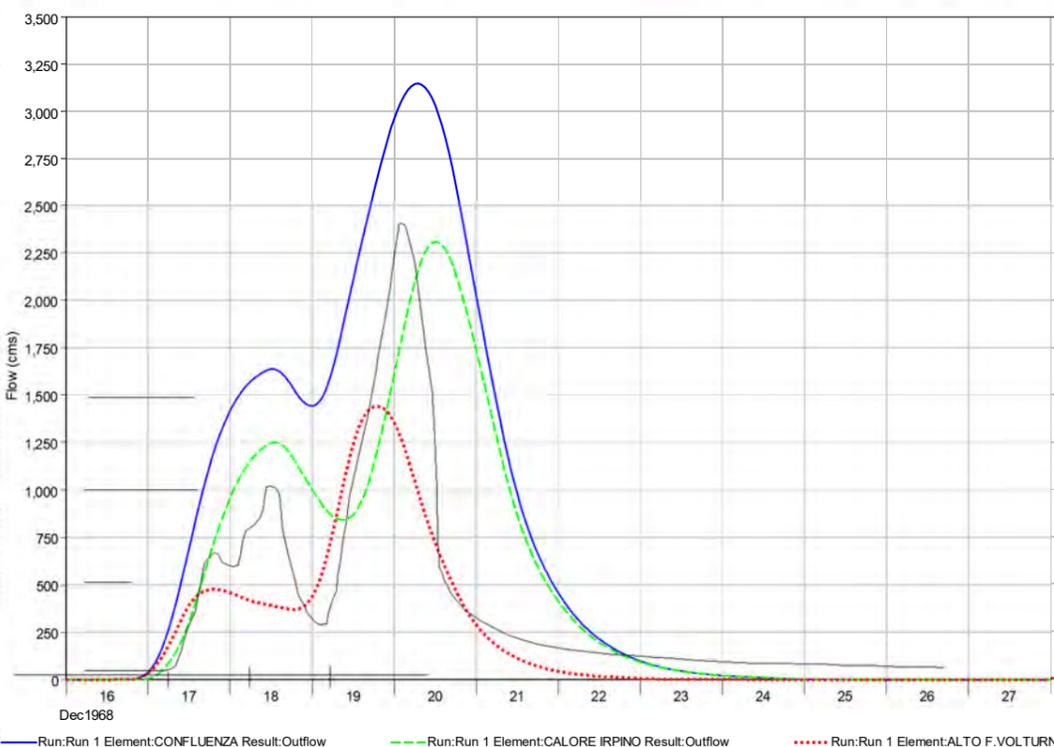
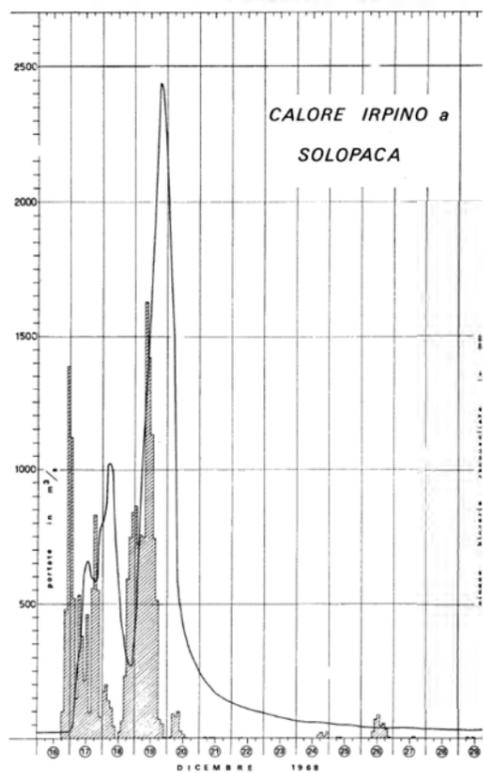
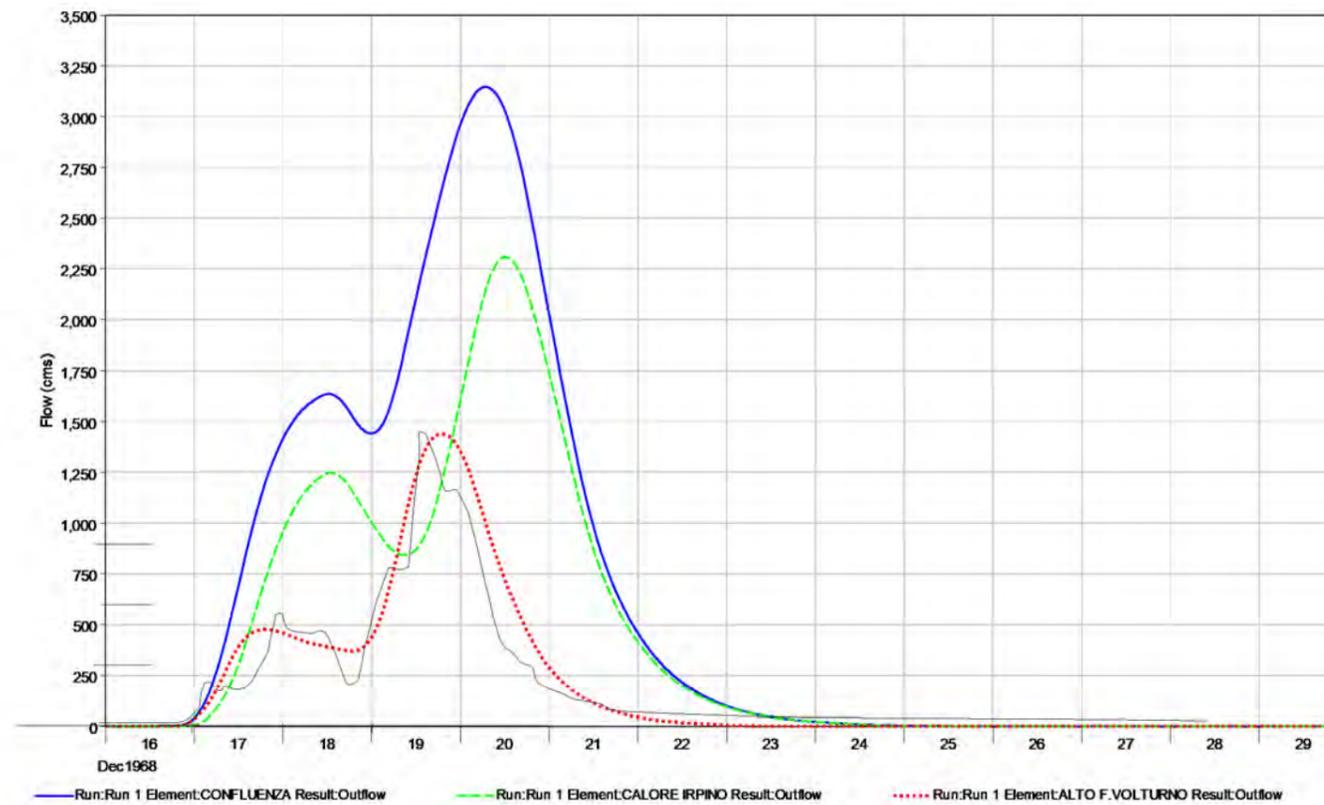
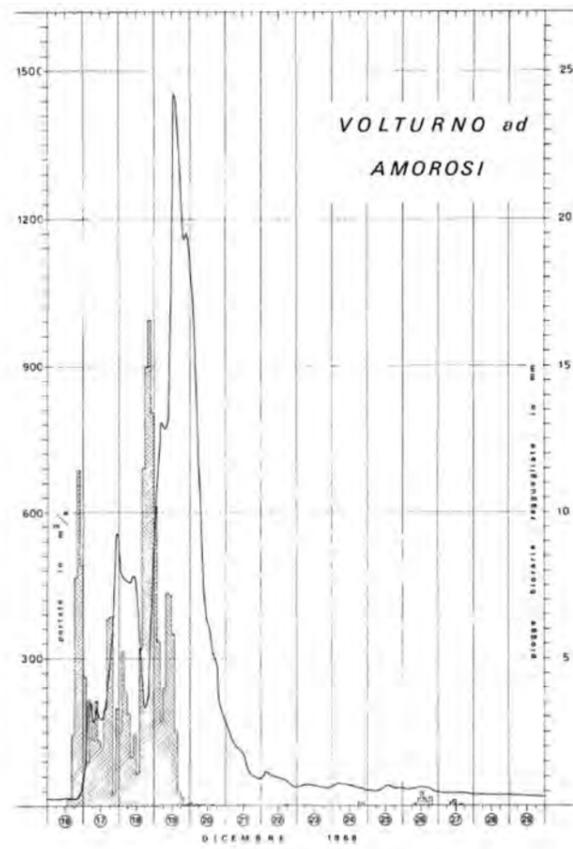
Corso d'acqua e Stazione		Bacino (km <sup>2</sup> )	Portate al colmo di piena VAPI (PSDA)					Media
			T=30	T=50	T=100	T=300	T=1000	
			Portata al colmo di piena (m <sup>3</sup> /s)	Portata al colmo di piena (m <sup>3</sup> /s)	Portata al colmo di piena (m <sup>3</sup> /s)	Portata al colmo di piena (m <sup>3</sup> /s)	Portata al colmo di piena (m <sup>3</sup> /s)	
1	Alto Volturno alla confluenza	2018	1370	1580	1860	2315	2810	
2	Calore Irpino alla confluenza	3058	1765	2040	2400	2990	3630	
3	Volturno a Ponte Annibale	5542	2640	3050	3600	4500	5430	
Somma 1+2			3135	3620	4260	5305	6440	<b>Media</b>
Riduzione percentuale del colmo di piena rispetto alla sezione di P.te Annibale			15.8%	15.7%	15.5%	15.2%	15.7%	<b>15.6%</b>

In altre parole, il fatto che il valore della portata al colmo di piena alla sezione di Ponte Annibale sia mediamente inferiore di circa il 15% al valore somma delle portate al colmo di piena alla sezione di confluenza, dei Fiumi Calore Irpino ed Alto Volturno, parrebbe portare in conto un duplice effetto di riduzione del colmo di piena a Ponte Annibale: da un lato, dovuto alla non contemporaneità temporale dei colmi di piena del Fiume Calore Irpino e del Fiume Alto Volturno, alla sezione di confluenza e dall'altro, alle dinamiche di propagazione dell'onda di piena dalla suddetta sezione di confluenza alla sezione di Ponte Annibale (per una distanza di 30 km).

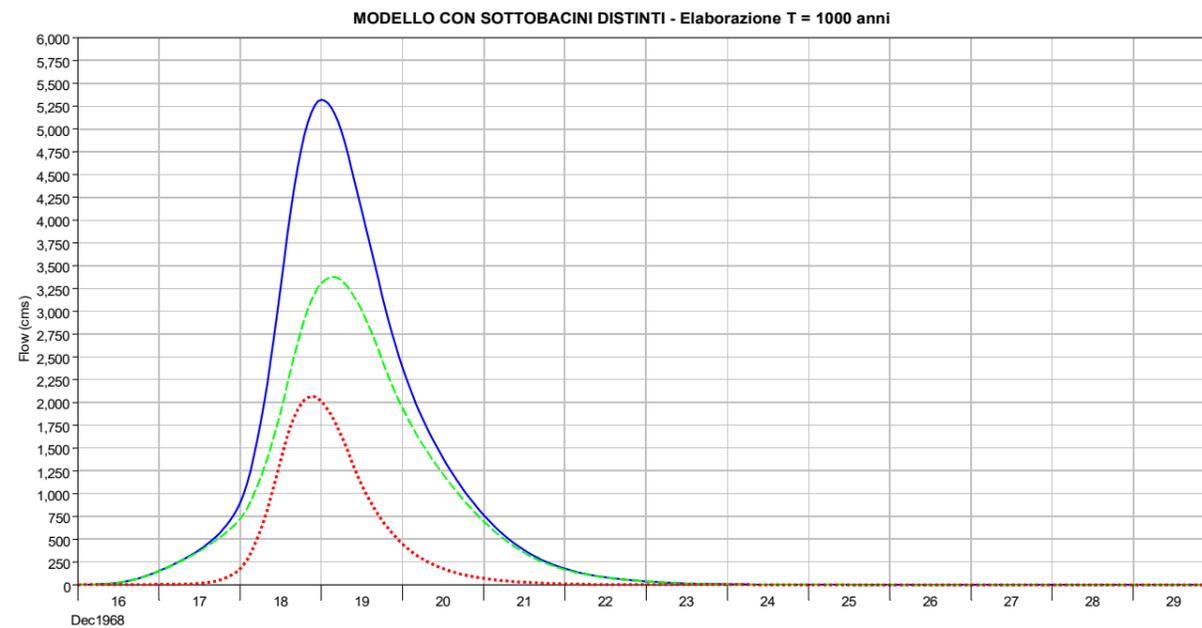
Al fine di verificare ulteriormente tale peculiarità del bacino idrografico e dell'alveo del Fiume Volturno, è stato implementato lo stesso modello idrologico utilizzato per lo Studio, però appositamente predisposto per una schematizzazione del bacino idrografico complessivo del Fiume Volturno in due distinti e collegati domini di calcolo, rappresentativi dei sottobacini del Fiume Calore Irpino e del Fiume Alto Volturno.

Si è proceduto, quindi, dapprima alla calibrazione del modello sulla scorta dei dati di pioggia e portata registrati durante l'evento di piena del 1968 (unico evento ampiamente ed in dettaglio documentato) e poi, per ciascun valore del periodo di ritorno  $T = 50, 100, 300, 500$  e 1000 anni, all'implementazione del modello così calibrato, sulla base degli stessi valori degli afflussi meteorici stimati nello Studio ovvero utilizzati nel modello con schematizzazione a "bacino unico".

Ai fini della calibrazione del modello, le dinamiche di trasformazione afflussi/deflussi dei due sottobacini sono state simulate implementando i valori delle "piogge ragguagliate" registrate durante l'evento di piena del 1968 e verificando la corrispondenza degli idrogrammi ottenuti con quelli misurati sull'Alto Fiume Volturno, alla sezione di Amorosi e sul Fiume Calore Irpino, alla sezione di Solopaca, come riportati nelle Figg. 6 e 9 - pagg.93 e 96 della Pubblicazione del Servizio Idrografico sull'evento del 1968.



Il confronto con gli idrogrammi registrati e pubblicati dal SIMN mostrano un soddisfacente adattamento del modello idrologico, evidenziando, per ciascun corso d'acqua: una sostanziale equivalenza della forma dell'idrogramma, della distanza temporale tra l'inizio della fase ascendente dell'idrogramma e la fine della fase discendente, della distanza tra i due colmi di piena e nei valori delle portate. Sulla base del modello calibrato, per ciascun valore del periodo di ritorno  $T = 50, 100, 300, 500$  e  $1000$  anni e sulla base dei valori degli afflussi meteorici stimati, si è proceduto alla valutazione dell'idrogramma di piena alla sezione di confluenza, ottenuto dagli idrogrammi prodotti distintamente dai sottobacini dell'Alto Fiume Volturno e del Calore Irpino. La sintesi dei risultati delle elaborazioni è riportata nella seguente tabella:



Corso d'acqua e Stazione		Bacino ( $km^2$ )	RISULTATI MODELLO SOTTOBACINI				
			T=50	T=100	T=300	T=500	T=1000
			Portata al colmo di piena ( $m^3/s$ )				
1	Alto Volturno alla confluenza	2018	1099	1216	1594	1780	2060
2	Calore Irpino alla confluenza	3058	1892	2218	2743	2994	3375
3	Sezione di confluenza	5076	2912	3348	4233	4663	5318
<b>Somma dei colmi di piena (1+2)</b>			<b>2991</b>	<b>3434</b>	<b>4337</b>	<b>4774</b>	<b>5435</b>
<b>Colmo di piena alla sezione di P.te Annibale, per riduzione del 15% del colmo alla sezione di confluenza</b>			<b>2475</b>	<b>2846</b>	<b>3598</b>	<b>3964</b>	<b>4520</b>

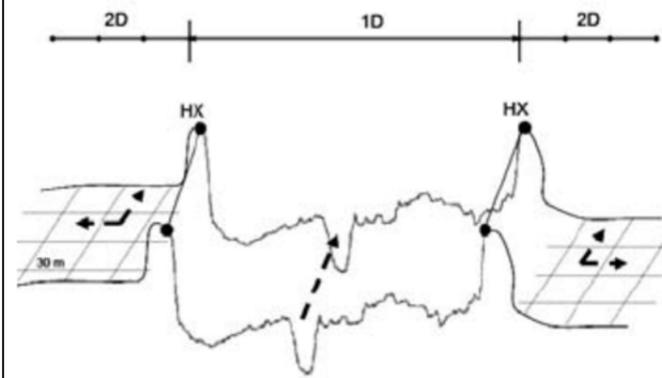
Con riferimento alle tabelle sopra riportate, i risultati esposti in tabella evidenziano come: 1) i valori delle portate al colmo di piena stimati alla sezione di Ponte Annibale, desunti dal modello idrologico a “doppio sottobacino”, risultano sostanzialmente essere coerenti con i dati storici di piena e con i risultati ottenuti mediante l’implementazione del modello a “bacino unico”, questi ultimi utilizzati nelle elaborazioni idrauliche oggetto del presente Studio; 2) i valori delle portate al colmo di piena stimati alla sezione di P.te Annibale con il metodo VAPI risultano, invece, essere più comparabili con i valori teorici “somma dei colmi di piena” alle sezioni di chiusura dei Fiumi Alto Volturno e Calore (sezione di confluenza). Ne deriva che i valori delle portate al colmo di piena stimati alla sezione di Ponte Annibale con il metodo VAPI appaiano sovrastimare, prescindendo quindi da esse, le reali caratteristiche del bacino e dei corsi d’acqua ad esso afferenti, in termini di formazione e diffusione delle portate e dei volumi di piena, mostrando oggettivamente, per il caso in esame, tutti i limiti dell’applicazione della formulazione matematico/empirica tipica dei processi di “regionalizzazione” che restano, comunque, validi per sezioni “non strumentate” ed in assenza di studi idrologici di dettaglio.

## STUDIO IDRAULICO

### MODELLO MATEMATICO BIDIMENSIONALE

Il modello matematico bidimensionale utilizzato per la valutazione delle caratteristiche che la corrente idrica assume in corrispondenza delle portate di piena è quello implementato nel codice di calcolo HEC-RAS, scelto per affidabilità e larga diffusione nell'ambito del settore dell'ingegneria idraulica. Tali requisiti garantiscono la riproducibilità e, dunque, la verificabilità delle elaborazioni svolte, con evidenti vantaggi in termini non solo di trasparenza, ma anche di confronto e approfondimento dei risultati conseguiti.

La simulazione della propagazione dei deflussi è stata implementata mediante **modellazione combinata 1D - 2D**, in regime di **moto vario** ed all'interno dello stesso "dominio" di calcolo; in particolare, la **modellazione 1D** è stata utilizzata per **l'asta fluviale principale** e la **modellazione 2D**, per le **aree naturali esterne ad essa finitime** (v. figura).

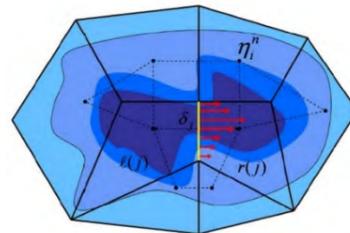


Per le simulazioni, si è scelto di utilizzare il **modello matematico di risoluzione delle equazioni "2D di diffusione dell'onda"**, con **risolutore** delle equazioni di moto bidimensionale ai **"volume finiti"** che fornisce maggiore stabilità e precisione dei risultati rispetto ai risolutori ad "elementi finiti".

Gli algoritmi di soluzione 1D-2D sono strettamente accoppiati nello stesso passo temporale di calcolo che consente di ottenere una perfetta coerenza, ad ogni passo temporale, tra i modelli 1D e 2D. Per la modellazione 2D sono state utilizzate *mesh* con celle computazionali di forma triangolare, quadrata, rettangole o anche con elementi a cinque e sei facce. **Le aree 2D** come sopra definite **sono state, poi, collegata al tratto d'alveo** simulato con modello monodimensionale **mediante "strutture laterali"**.

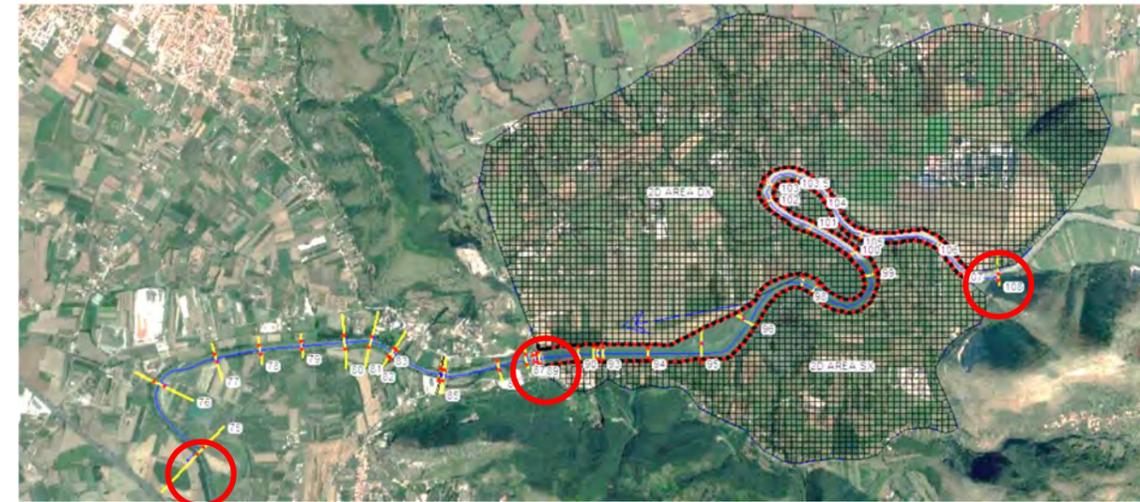
Per tutte le elaborazioni di calcolo eseguite, è stato scelto il regime di moto "misto" (*Mixed Flow*), costituendo lo sbarramento di Ponte Annibale "sezione di controllo", ed assunte le seguenti condizioni al contorno:

- **condizione di monte:** implementazione, in corrispondenza della sezione iniziale del modello (RS 108), dell'idrogramma di piena (*Flow Hydrograph*), come desunto dalle elaborazioni idrologiche sopra descritte;
- **condizione di valle:** impostazione, in corrispondenza della sezione finale del modello (RS 75) dell'altezza di moto uniforme (*Normal Depth*), essendo le condizioni idrodinamiche a valle della diga "governate" dall'esteso tratto fluviale di valle in cui, sostanzialmente, possono ritenersi sussistenti le condizioni di "moto uniforme", chiaramente in regime di "corrente lenta".



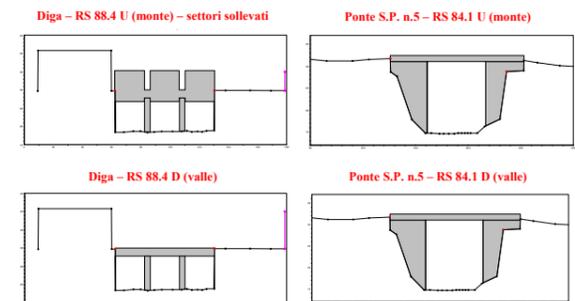
### CARATTERIZZAZIONE GEOMETRICA DEL CORSO D'ACQUA PRESO IN ESAME

Il tratto d'alveo del Fiume Volturno interessato: dall'attraversamento della S.S. n.87 "Sannitica" [**Ponte della Scafa** – Sezione in pianta n.40 – RS (River Station) n.108 – **Progr. 0,00 m**], **posta a 7,6 km circa dalla sezione della diga, alla Sezione n.73** (RS n.75 – Progr. 12073,75 m), **ubicata a circa 4,4 km a valle della diga, per uno sviluppo complessivo di 12,0 km.**

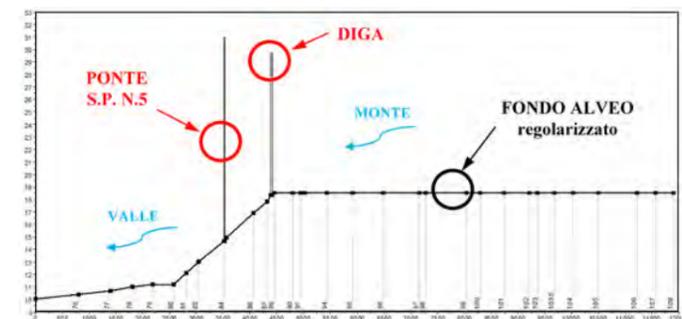


La ricostruzione della geometria dell'alveo utilizzata per i calcoli idraulici è stata effettuata sulla base dei rilievi topografici di dettaglio, nella scala 1:500, eseguiti e messi a disposizione dalla AdB. Le elaborazioni svolte per la definizione della geometria dell'alveo, implementata nel codice di calcolo, hanno riguardato:

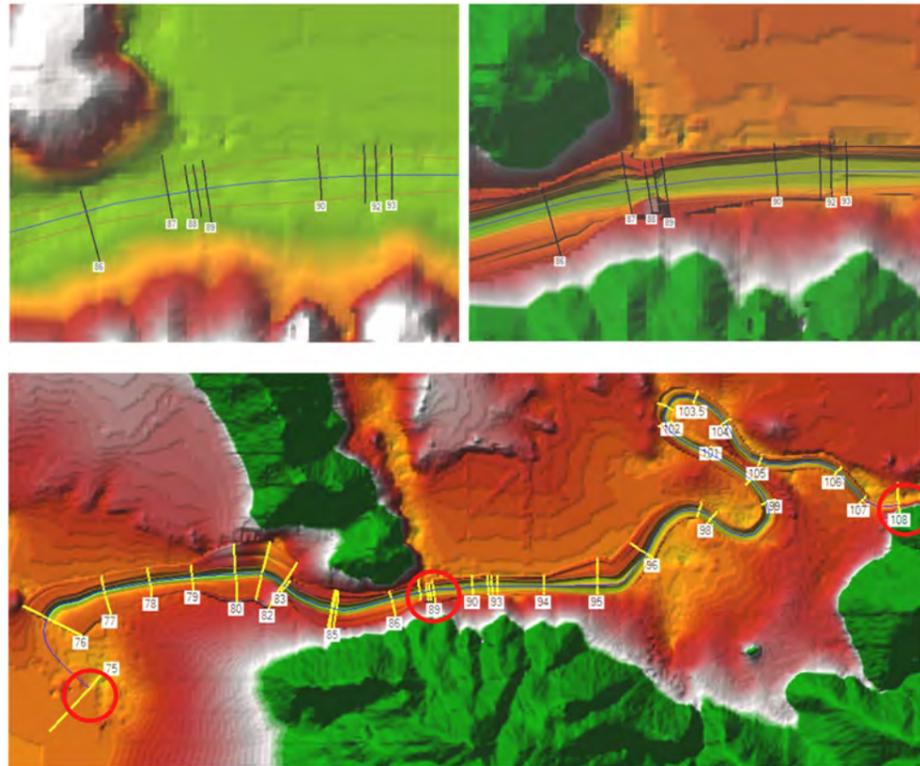
- l'individuazione di un "asse di riferimento" del corso d'acqua e tracciamento della relativa poligonale;
- l'ubicazione, numerazione ed implementazione nel software di **n.37 sezioni trasversali d'alveo** e **n.4 sezioni identificative della diga di Ponte Annibale** (RS 88.4 U – RS 88.4 D) e **del manufatto di attraversamento della S.P. n.5 "Galatina"** (Ponte Annibale – RS 84.1 U – RS 84.1 D);
- regolarizzazione del profilo di fondo alveo e delle sezioni trasversali utilizzate nel calcolo idraulico.



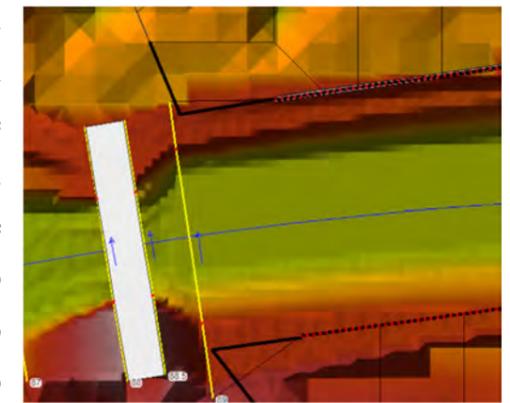
Per tutte le sezioni, i calcoli idraulici sono stati condotti utilizzando il coefficiente di scabrezza  $K_S = 35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  (equivalente *Manning's n Value* = **0,02857**), assumendo tale valore costante per l'intera sezione, in linea con le indicazioni del Piano Stralcio di Difesa dalle Alluvioni (PSDA) vigente.



La caratterizzazione geometrica del dominio di calcolo, ed in particolare delle aree del bacino di invaso sotteso dallo sbarramento e delle aree a cavallo dei cigli spondali dell'alveo del F. Volturno, è stata effettuata implementando, in un unico modello digitale del terreno, sia i rilievi topografici di dettaglio e sia il Modello Digitale di Elevazione del terreno (DEM 20x20). Mediante l'applicativo RAS-MAPPER, subroutine del software HEC-RAS, è stato creato un unico modello digitale del terreno di elevata precisione, ottenuto dalla fusione tra il DEM 20x20 m e le sezioni topografiche del F. Volturno desunte dal rilievo celerimetrico di dettaglio, pervenendo ad una modellazione del terreno, in corrispondenza delle sponde del corso d'acqua, molto precisa ed adeguata alle finalità dello studio idraulico.



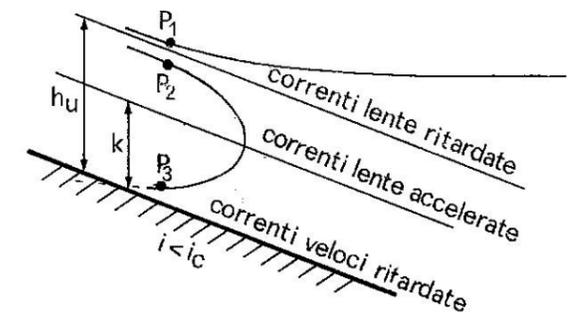
In relazione alla capacità del software di valutare e portare in conto le fuoriuscite ed i successivi rientri d'acqua, le aree a deflusso 2D, rappresentative delle aree retro arginali e/o naturali di espansione, sono state collegate al modello geometrico 1D dell'alveo del F. Volturno mediante l'inserimento di "sfioratori laterali" (Lateral Structure), definiti nel modello con procedura GIS di georeferenziazione. In particolare, come sfioratore laterale, sono stati implementati sia l'argine destro, ubicato tra la sezione di sbarramento e la sezione RS 96 e sia le sponde naturali dell'intero tratto d'alveo ricompreso all'interno del bacino di invaso della diga. Il coefficiente di stramazzo (*Weir coefficient*) è stato assunto pari a 0.8, equivalente a 0,415 nel Sistema di riferimento Internazionale (*S.I. Units*).



Al fine di verificare la correttezza e precisione del modello idraulico bidimensionale implementato rispetto alle reali condizioni morfometriche del corso d'acqua sono state analizzate e confrontate con i dati noti di progetto (ripresi anche dal FCEM vigente), le caratteristiche idrauliche del bacino di invaso a monte della sezione di sbarramento. In particolare, imponendo pari a 26,5 m s.l.m. il valore della quota idrica all'altezza dello sbarramento, si sono desunti dal software i seguenti parametri: volume afferente al bacino di invaso = 7,52 Mm<sup>3</sup>; estensione superficiale del bacino di invaso = 3,3 km<sup>2</sup>; volume utile di regolazione = 2,27 Mm<sup>3</sup>. Il confronto con i dati di progetto e del FCEM ha evidenziato una soddisfacente corrispondenza e, quindi, buona affidabilità del modello.

**Il tracciamento dei profili di corrente** è stato effettuato implementando il codice di calcolo HEC-RAS (River Analysis System), messo a punto e distribuito dall'Hydrological Engineering Center (HEC) dell'U.S. Army Corps of Engineers (USACE). I calcoli sono stati effettuati con riferimento ai valori delle massime portate e volumi di piena, per  $T = 50, 100, 200, 300, 350, 400, 450, 500$  e 1000 anni, stimati per le sezioni di interesse. L'esame dei tabulati di calcolo dei profili di corrente ha evidenziato che l'alveo è sempre del tipo "a debole pendenza", caratterizzato, pertanto, da profili di corrente con classico andamento "lento ritardato" e "lento accelerato", come evidenziato in figura. In particolare:

- per valori della quota idrica in diga inferiori alla quota di intradosso dell'impalcato ( $Y_{DIGA} < 27,80$  m s.l.m.), i profili di corrente lungo l'intero tratto d'alveo preso in esame risultano, sostanzialmente, "governati" dalle condizioni idrodinamiche di valle, a meno dei locali effetti di "contrazione" ed "espansione" della vena liquida a cavallo della sezione di sbarramento di Ponte Annibale e della sezione del Ponte sulla S.P. n.5;
- per valori della quota idrica in diga superiori alla quota di intradosso dell'impalcato ( $Y_{DIGA} > 27,80$  m s.l.m.), i profili di corrente risultano, sostanzialmente, "governati" dalle condizioni idrodinamiche di valle, fino alla sezione di sbarramento di Ponte Annibale, con andamento "lento ritardato" e dalle condizioni idrodinamiche che si verificano in diga, per il tratto d'alveo a monte, caratterizzato da andamento "lento accelerato".



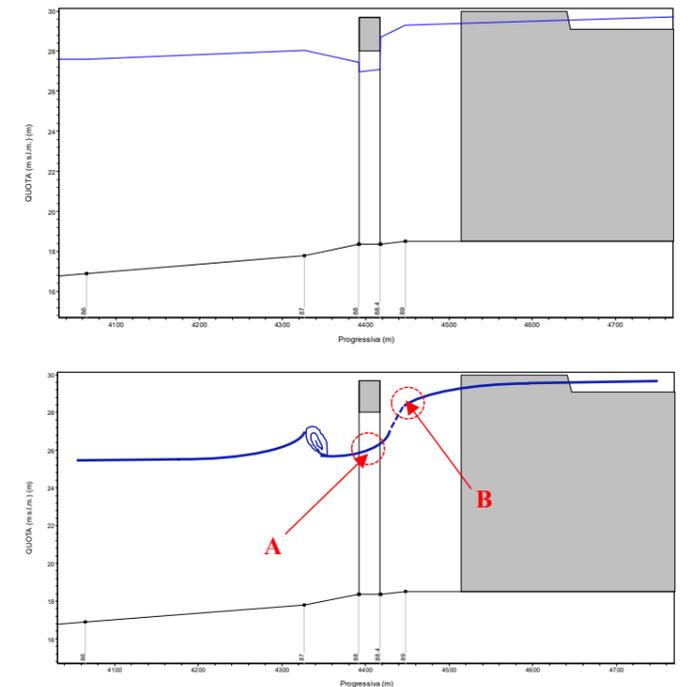
Per ciascun valore del periodo di ritorno  $T = 50, 100, 200, 300, 350, 400, 450, 500$  e 1000 anni, e **con riferimento all'istante temporale in cui si verificano le condizioni di massima quota idrica in diga**, sono stati elaborati: **il profilo di corrente in forma tabellare** (per tutte le sezioni trasversali del tratto d'alveo del dominio di calcolo, comprese le sezioni della diga di Ponte Annibale e del ponte sulla S.P. n.5); **il profilo di corrente in forma grafica** (relativo all'intero tratto d'alveo preso in esame, dalla sezione RS 75 [valle] alla sezione RS 108 [monte]), con indicazione: dei profili di fondo alveo e della quota idrica, delle sezioni della diga di Ponte Annibale e del ponte sulla S.P. n.5 e dei profili dell'argine destro e della sponda destra, simulati come elementi "sfioratore laterale" per il collegamento tra i modelli 1D – 2D; **la rappresentazione grafica del modello bidimensionale**, con indicazione: dei livelli (o battenti) idrici massimi e delle aree allagate; delle velocità massime, in direzione e modulo, in alveo e nelle aree 2D; dell'andamento dei flussi idrici in alveo e nelle aree 2D; **il grafico degli andamenti della porta e della quota idrica in corrispondenza della diga**, con indicazione anche dell'andamento della portata in ingresso al modello [in corrispondenza della sezione iniziale (RS 108)]; **le**

**sezioni trasversali rappresentative dello sbarramento di Ponte Annibale**, con indicazione della quota idrica e del carico totale (RS 88.5 = sezione immediatamente a monte dello sbarramento – RS 88.4 U = sezione di monte dello sbarramento, con paratoie a settore in condizioni di totale apertura – RS 88.4 D = sezione di valle dello sbarramento); **tutte le sezioni trasversali rappresentative del dominio di calcolo 1D**, con indicazione della quota idrica e del carico totale; **principali sezioni trasversali del dominio di calcolo 1D-2D**, con indicazione della quota idrica e del carico totale.

Relativamente al profilo di corrente, nel tratto d'alveo a cavallo dello sbarramento, provenendo da monte in “corrente lenta” e profilo “lento accelerato”, la corrente idrica subisce una sensibile accelerazione, defluendo al di sotto dell'impalcato in regime di “corrente veloce”, con profilo “veloce accelerato” e tiranti idrici sensibilmente più bassi. Superata la sezione della diga, mediante “risalto idraulico”, la corrente tende a riassumere un regime di “corrente lenta”, con profilo “lento ritardato” e raccordato al profilo di valle, da cui evidentemente dipende.

Nelle figure è riportato l'andamento del profilo di corrente in corrispondenza del tratto d'alveo a cavallo della diga di Ponte Annibale; in particolare, nella prima figura è riportato il profilo di corrente “schematico” tracciato dal software HEC-RAS; nella seconda figura è riportato il profilo di corrente “teorico”.

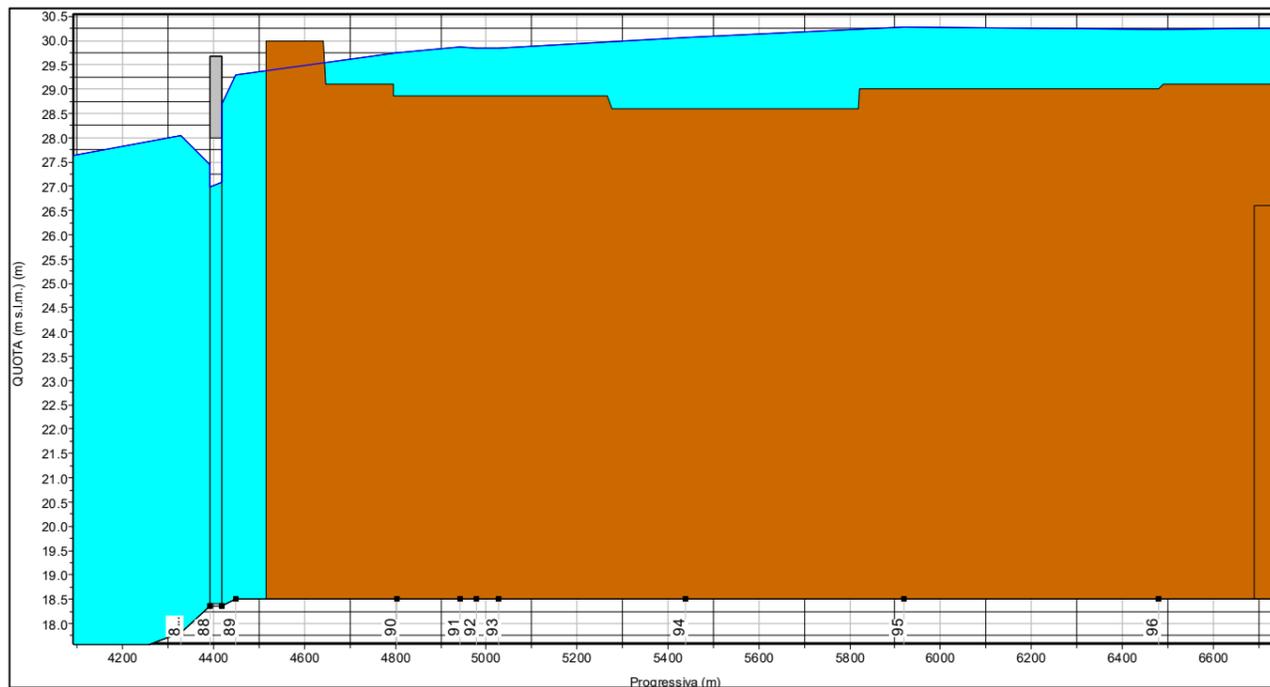
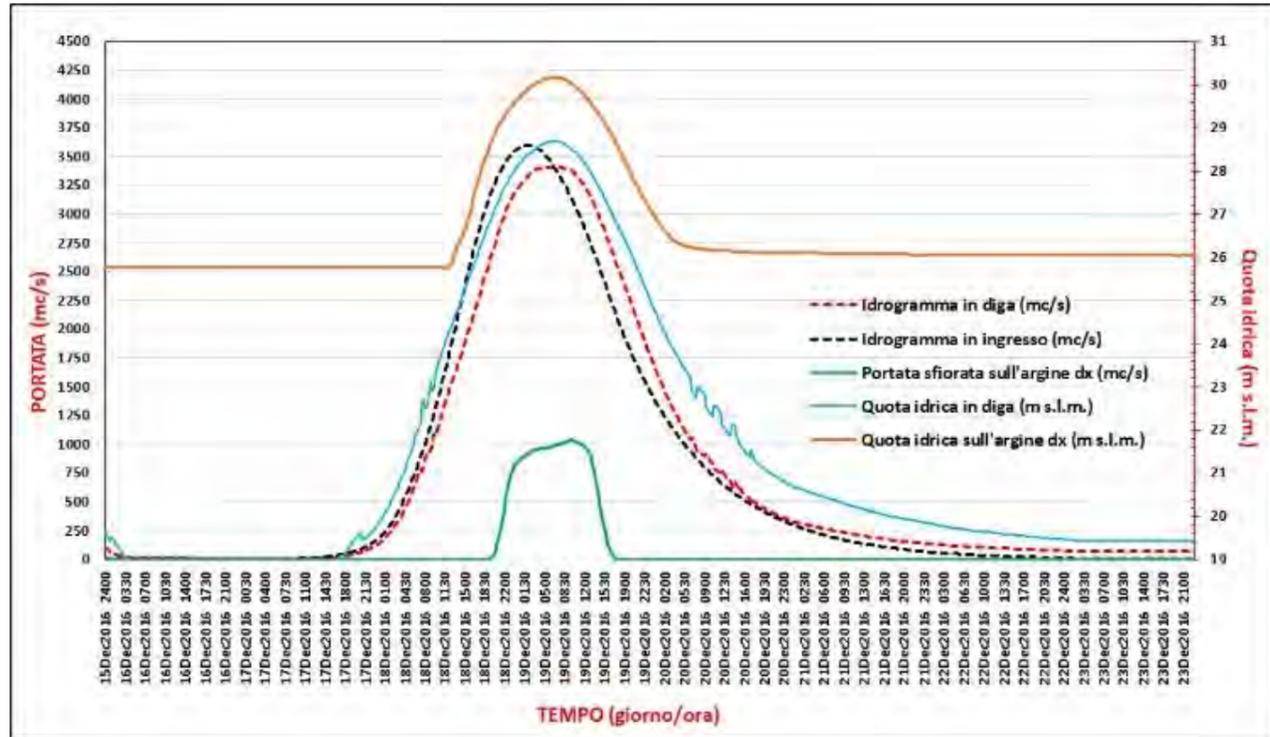
In tale contesto, **in via cautelativa**, per la determinazione del “*franco netto*” non si è fatto riferimento ai valori della massima quota idrica calcolata in corrispondenza del manufatto di sbarramento (RS 88.4 U e RS 88.4 D – **punto A di figura**), nella maggior parte degli eventi di piena esaminati molto prossimi alle “condizioni di stato critico”, ma bensì ai valori della massima quota idrica calcolati in corrispondenza della sezione di deflusso posta immediatamente a monte del manufatto della diga (RS 88.5 – **punto B di figura**), da cui ha origine il profilo di corrente, in condizioni di “moto uniforme”, relativo al tratto d'alveo di monte, afferente al bacino di invaso. I risultati delle elaborazioni, per le finalità dello Studio di verifica della sicurezza idrologica idraulica della diga sono riportate in tabella.



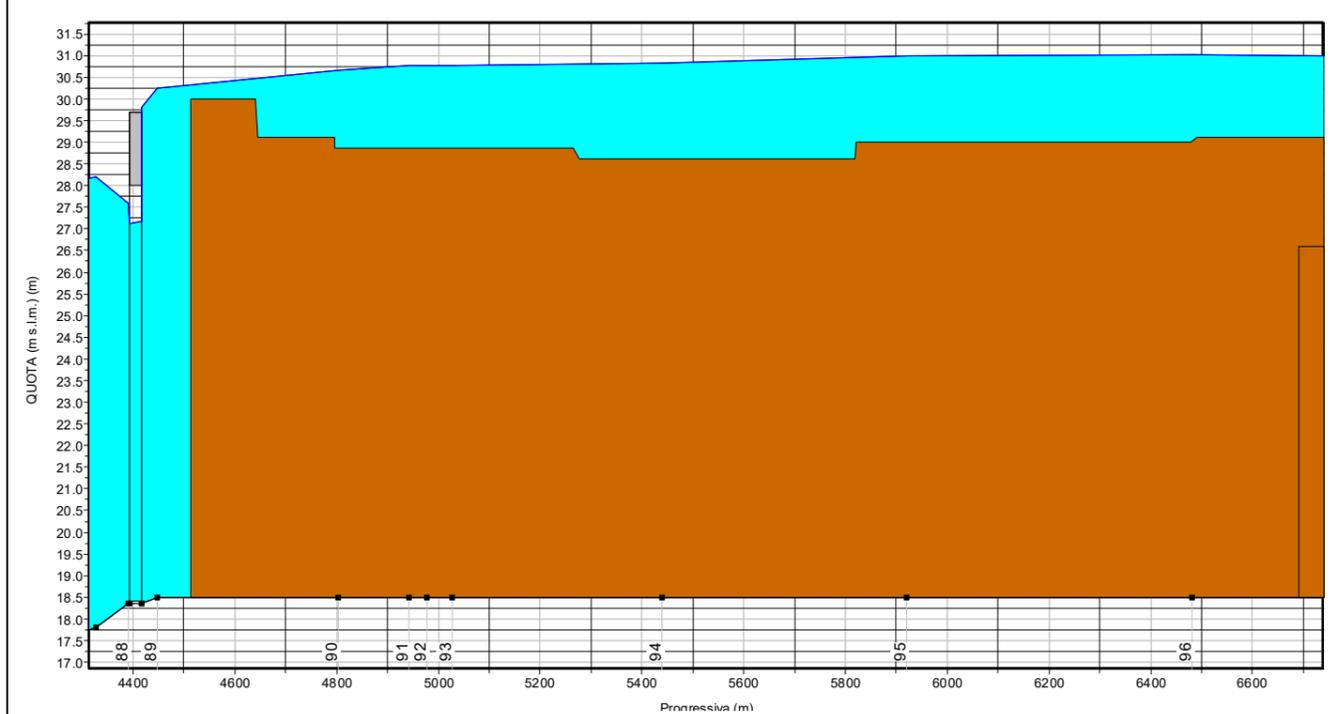
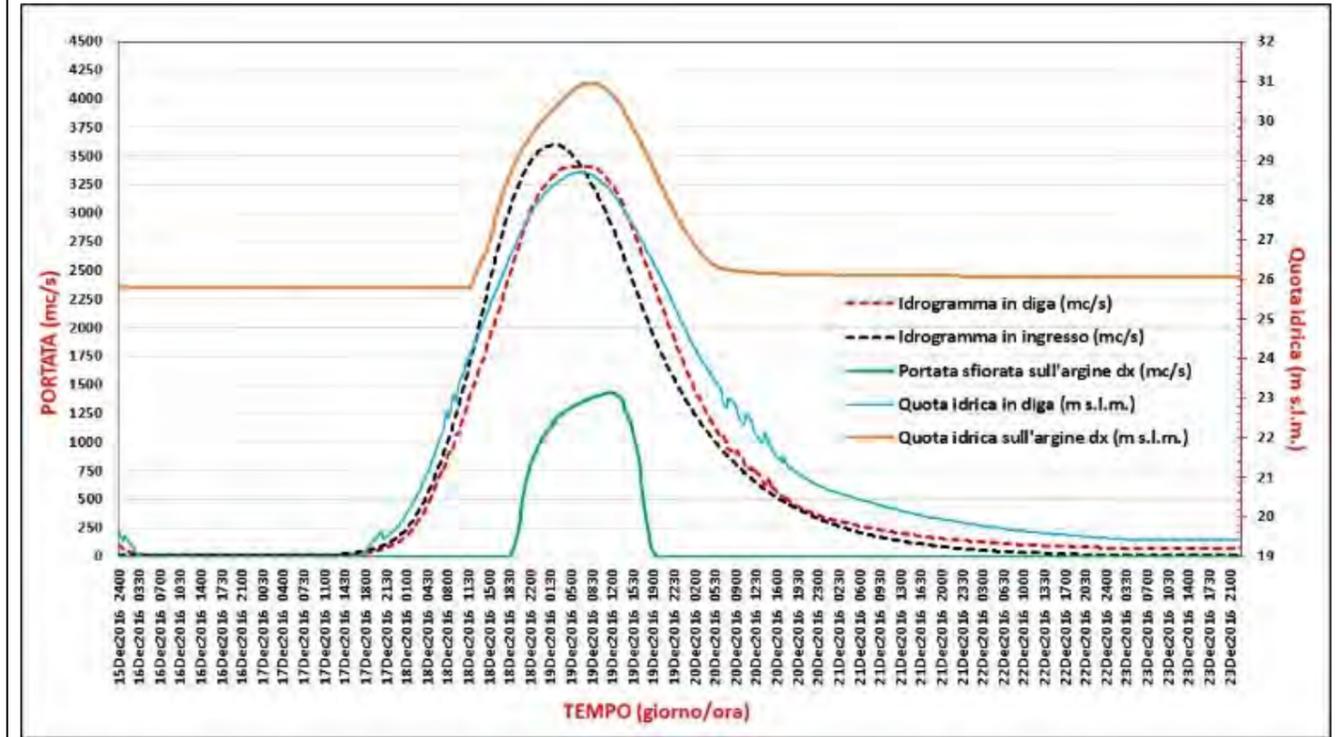
Periodo di ritorno (T)	Portata al colmo di piena dell'idrogramma in ingresso [Sez.108]	Portata alla sezione di ingresso del modello idraulico [Sez.108] (*)	Portata in Diga [Sez.88.5] (*)	Quota idrica DIGA [Sez.88.5]	Franco (coronamento diga)	Franco netto	% Laminazione del picco di piena
[anni]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m s.l.m.]	[m]	[m]	
50	2238	2185.3	2188.4	25.97	4.03	3.89	2.2%
100	2750	2658.3	2673.2	27.00	3.00	2.86	2.8%
200	3291	3180.6	3180.7	28.03	1.97	1.83	3.4%
300	3598	3412.2	3408.1	28.70	1.30	1.16	5.3%
350	3700	3524.5	3448.1	29.15	0.85	0.71	6.8%
400	3841	3514.9	3507.7	29.79	0.21	0.07	8.7%
450	3931	3550.2	3537.0	30.15	-0.15	-0.29	10.0%
500	4032	3604.5	3574.2	30.51	-0.51	-0.66	11.4%
1000	4678	3967.7	3951.0	32.67	-2.67	-2.82	15.5%

(\*) I dati di portata si riferiscono all'istante temporale, dall'inizio dell'evento, in cui è massima la quota idrica in Diga  
 Fetch = 4 km; V<sub>vento</sub> = 60 km/h; A<sub>onda</sub> = 0,29 m (Rif. Art.C.2); A/2 = 0,145 m  
 Quota del coronamento = 30 m s.l.m.

**Il Franco netto  $F_n$  risulta  $> 1$  m** (e pari a 1,16 m), per un valore della portata di piena transitante in corrispondenza della sezione di imposta della diga  **$Q = 3.400 \text{ m}^3/\text{s}$**  circa, associata al tempo di ritorno  **$T = 300$  anni**, a cui corrisponde una portata al colmo di piena dell'idrogramma di progetto in ingresso al dominio di calcolo  **$Q = 3.600 \text{ m}^3/\text{s}$**  circa.



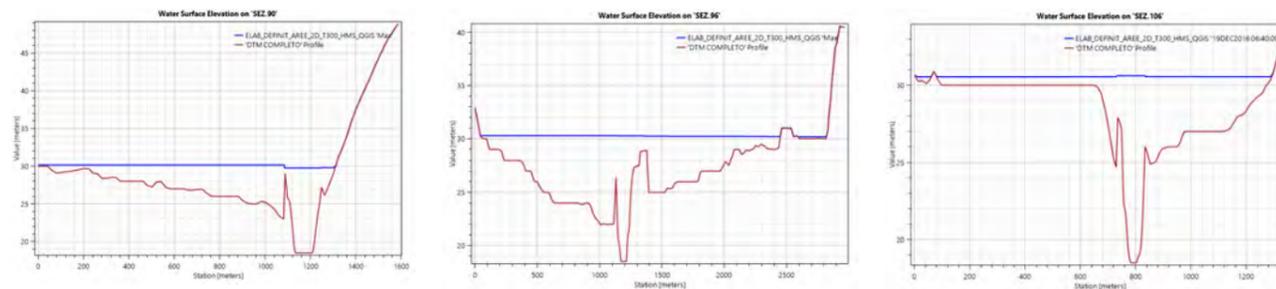
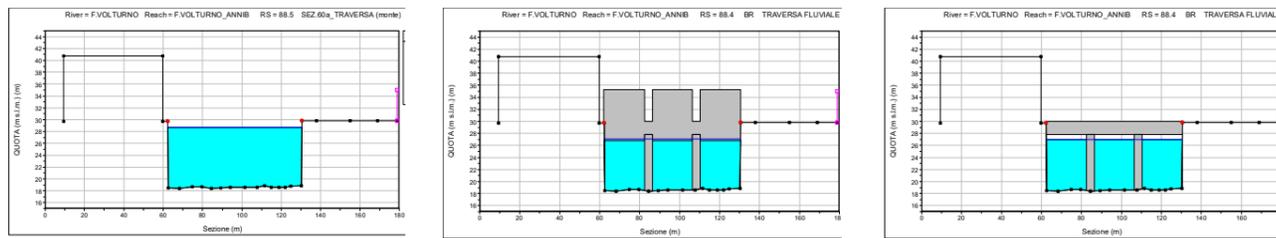
**Il Franco netto si annulla ( $F_n = 0,07$  m)**, per un valore della portata di piena transitante in corrispondenza della sezione di imposta della diga  **$Q = 3.500 \text{ m}^3/\text{s}$**  circa, associata al tempo di ritorno  **$T = 400$  anni**, a cui corrisponde una portata al colmo di piena dell'idrogramma di progetto in ingresso al dominio di calcolo  **$Q = 3.840 \text{ m}^3/\text{s}$**  circa.



### RISULTATI per T = 300 ANNI

- **Quota di massimo invaso** (diga RS 88.5) = 28,7 m s.l.m.;
- **Portata di piena in diga (\*)** = 3.408 m<sup>3</sup>/s;
- Velocità della corrente in diga (\*) = 4,96 m/s;
- **Portata al colmo di piena dell'idrogramma di progetto** = 3.598 m<sup>3</sup>/s;
- Franco idraulico (Quota coronamento – Quota di massimo invaso) = 30 – 28,7 = 1,30 m;
- **Franco netto** [30 – (28,70 + 0,145)] = 1,155 m (0,145 m = semi ampiezza onda);
- Quota idrica media al di sotto dell'impalcato dello sbarramento (\*) (RS 88.4) = 27,04 m s.l.m.;
- Velocità media al di sotto dell'impalcato dello sbarramento (\*) (RS 88.4) = 6,85 m/s;
- Quota idrica aree 2D (bacino invaso) (\*) (RS 90) = 30,16 m s.l.m.;
- Velocità media area 2D (bacino invaso) (\*) (RS 90) = 0,10 m/s;
- Quota idrica aree 2D (bacino invaso) (\*) (RS 96) = 30,25 m s.l.m.;
- Velocità media aree 2D (bacino invaso) (\*) (RS 96) = 0,07 m/s
- Quota idrica aree 2D (bacino invaso) (\*) (RS 106) = 30,55 m s.l.m.;
- Velocità media aree 2D (bacino invaso) (\*) (RS 106) = 0,05 m/s

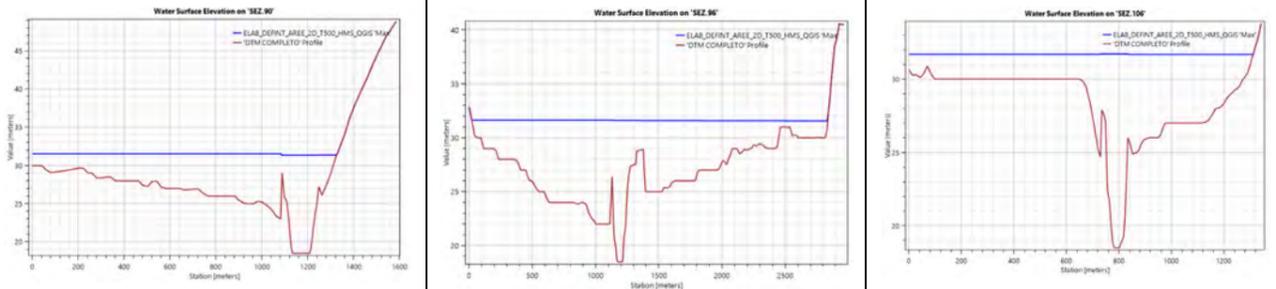
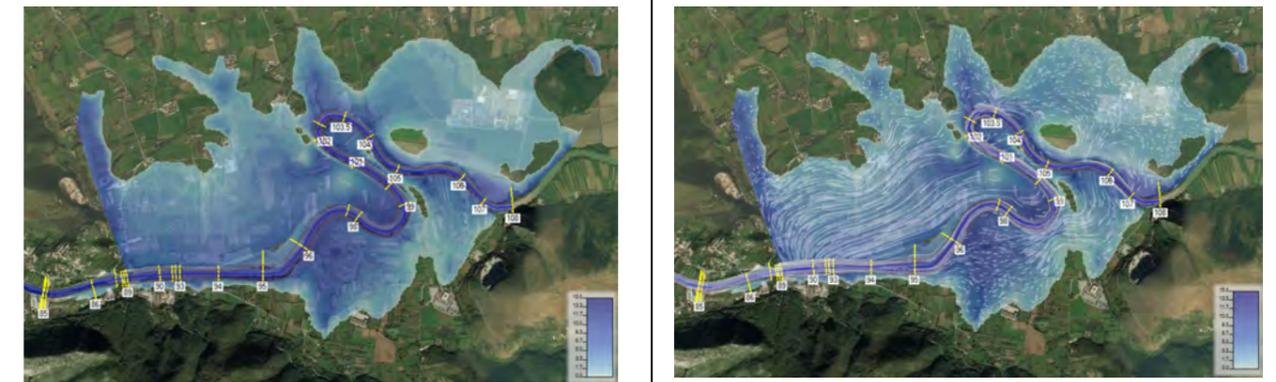
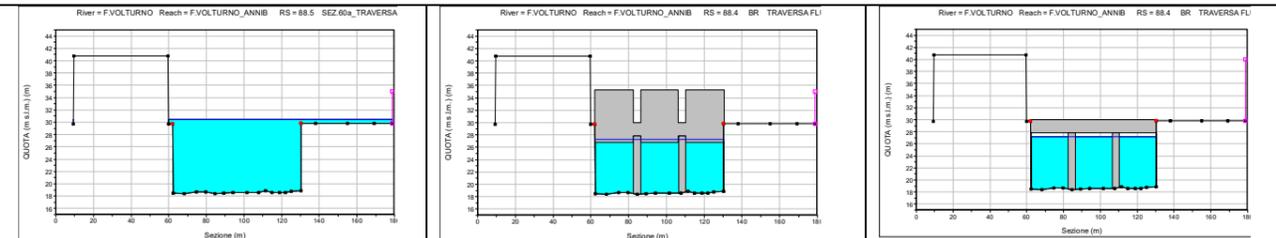
(\*) **istante in cui si verifica la quota di massimo invaso**



### RISULTATI per T = 500 ANNI

- **Quota di massimo invaso** (diga RS 88.5) = 30,51 m s.l.m.;
- **Portata di piena in diga (\*)** = 3.575 m<sup>3</sup>/s;
- Velocità della corrente in diga (\*) = 4,23 m/s;
- **Portata al colmo di piena dell'idrogramma di progetto** = 4.032 m<sup>3</sup>/s;
- Franco idraulico (Quota coronamento – Quota di massimo invaso) = 30 – 30,51 = – 0,51 m;
- **Franco netto** [30 – (30,51 + 0,145)] = – 0,66 m (0,145 m = semi ampiezza onda);
- Quota idrica media al di sotto dell'impalcato dello sbarramento (\*) (RS 88.4) = 27,21 m s.l.m.;
- Velocità media al di sotto dell'impalcato dello sbarramento (\*) (RS 88.4) = 7,09 m/s;
- Quota idrica aree 2D (bacino invaso) (\*) (RS 90) = 31,55 m s.l.m.;
- Velocità media area 2D (bacino invaso) (\*) (RS 90) = 0,25 m/s;
- Quota idrica aree 2D (bacino invaso) (\*) (RS 96) = 31,60 m s.l.m.;
- Velocità media aree 2D (bacino invaso) (\*) (RS 96) = 0,55 m/s
- Quota idrica aree 2D (bacino invaso) (\*) (RS 106) = 31,70 m s.l.m.;
- Velocità media aree 2D (bacino invaso) (\*) (RS 106) = 0,30 m/s

(\*) **istante in cui si verifica la quota di massimo invaso**



Nell'ipotesi di considerare la **chiusura, per blocco delle paratoie, del 30% delle luci di passaggio della corrente idrica**, ovvero nel caso specifico di considerare in posizione di totale chiusura il Settore n.2 (centrale), come indicato in sintesi nella tabella che segue ed in dettaglio nell'*Allegato B* alla presente relazione, i risultati delle elaborazioni evidenziano:

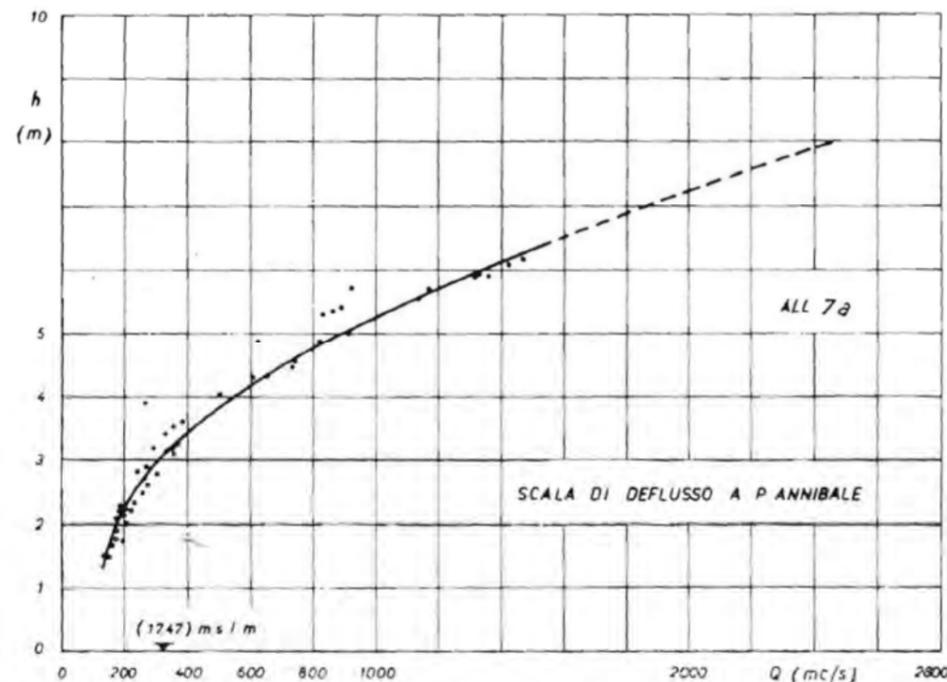
- un valore del **Franco netto** > 0, e pari a 0,18 m, per un valore della portata di piena transitante in corrispondenza della sezione di imposta della diga  $Q_{DIGA} = 2.530 \text{ m}^3/\text{s}$  circa, associata al tempo di ritorno  $T = 100$  anni, a cui corrisponde una portata al colmo di piena dell'idrogramma di progetto in ingresso al dominio di calcolo  $Q_{PICCO IDR} = 2.750 \text{ m}^3/\text{s}$  circa;
- un valore del **Franco netto** = 1,0 m, per un valore della portata di piena transitante in corrispondenza della sezione di imposta della diga (stimata per interpolazione lineare - v. grafico a)  $Q_{DIGA} = 2.260 \text{ m}^3/\text{s}$  circa, associata al tempo di ritorno  $T = 65$  anni (stimato per interpolazione logaritmica - v. grafico b), a cui corrisponde una portata al colmo di piena dell'idrogramma di progetto in ingresso al dominio di calcolo  $Q_{PICCO IDR} = 2.410 \text{ m}^3/\text{s}$  circa (stimata per interpolazione logaritmica del coefficiente di laminazione del picco di piena - v. grafico c);
- l'annullamento del **Franco netto** ( $F_n = 0$ ), per un valore della portata di piena transitante in corrispondenza della sezione di imposta della diga (stimata per interpolazione lineare - v. grafico a)  $Q_{DIGA} = 2.580 \text{ m}^3/\text{s}$  circa, associata al tempo di ritorno  $T = 110$  anni (stimato per interpolazione logaritmica - v. grafico b), a cui corrisponde una portata al colmo di piena dell'idrogramma di progetto in ingresso al dominio di calcolo  $Q_{PICCO IDR} = 2.795 \text{ m}^3/\text{s}$  circa.

RISULTATI DELLE ELABORAZIONI CONSIDERANDO "FUORI SERVIZIO" IL 30% DELLE LUCI DI SCARICO							
Periodo di ritorno (T)	Portata al colmo di piena dell'idrogramma in ingresso [Sez.108]	Portata alla sezione di ingresso del modello idraulico [Sez.108]	Portata in Diga [Sez.88.5]	Quota idrica DIGA [Sez.88.5]	Franco (coronamento diga)	Franco netto	% Laminazione del picco di piena
[anni]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m s.l.m.]	[m]	[m]	
50	2238	2118.2	2097.7	28.40	1.60	1.46	6.3%
100	2750	2536.4	2532.3	29.68	0.32	0.18	7.9%
200	3291	2997.7	2969.1	30.88	-0.88	-1.03	9.8%
300	3598	3110.7	3119.6	31.67	-1.67	-1.82	13.3%

(\* I dati di portata si riferiscono all'istante temporale, dall'inizio dell'evento, in cui è massima la quota idrica in Diga Fetch = 4 km;  $V_{vento} = 60 \text{ km/h}$ ;  $A_{onda} = 0,29 \text{ m}$  (Rif. Art.C.2);  $A/2 = 0,145 \text{ m}$  Quota del coronamento = 30 m s.l.m.

### VERIFICA DEL MODELLO IDRAULICO

"Propagazione delle onde di piena del Volturno da Ponte Annibale al mare", curato dal Dott. Ing. VINCENZO DURANTE (Ingegnere Principale del Genio Civile di Caserta) nell'ambito della pubblicazione "I Convegno degli Ingegneri Idraulici del Corpo del Genio Civile - Parma: 30 ottobre - 1° Novembre 1963", Atti del Convegno, del Ministero dei Lavori Pubblici - Magistrato per il Po:



### XV. - VOLTURNO a PONTE ANNIBALE

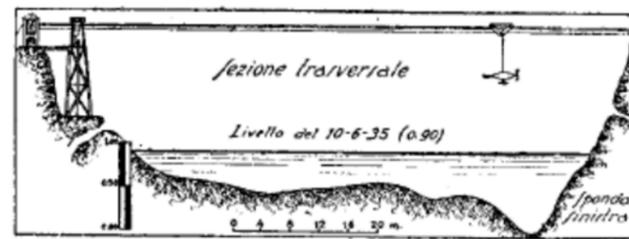
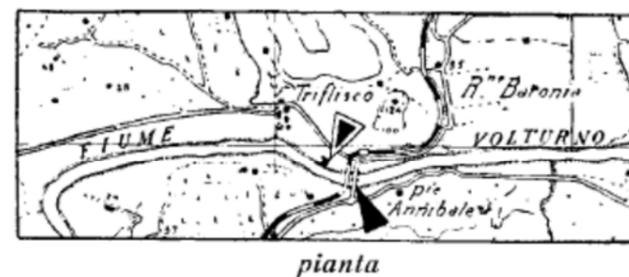


Fig. 29

#### Caratteristiche della Stazione

- Bacino di dominio  $\text{km}^2$  5542 (parte permeabile 43%); altitudine media  $m$  534 s. m.; distanza dalla foce  $\text{km}$  53; inizio misure: gennaio 1923. L'alveo nella sezione di misura è sufficientemente stabile.
- Idrometro di riferimento (a lettura diretta): Ponte Annibale (sulla Provinciale)  $\text{km}$  0,100 a monte sp. s.; quota zero  $m$  17,47 s. m.; Inizio osservazioni: 1867; massima piena  $m$  7,79 (5-1-1915); massima magra:  $m$  0,20 (29 e 30-IX-1935). Idrometro di stazione (Registatore) quota zero  $m$  17,11 s. m.
- Portate dall'inizio delle misure: annua media  $\text{mc}/\text{sec}$  86,5 ( $\text{l}/\text{sec}/\text{km}^2$  15,6); massima  $\text{mc}/\text{sec}$  [2400] ( $\text{l}/\text{sec}/\text{km}^2$  [451]) (5-1-1915); minima  $\text{mc}/\text{sec}$  [21,8] ( $\text{l}/\text{sec}/\text{km}^2$  [3,9]) (vari: agosto 1925).

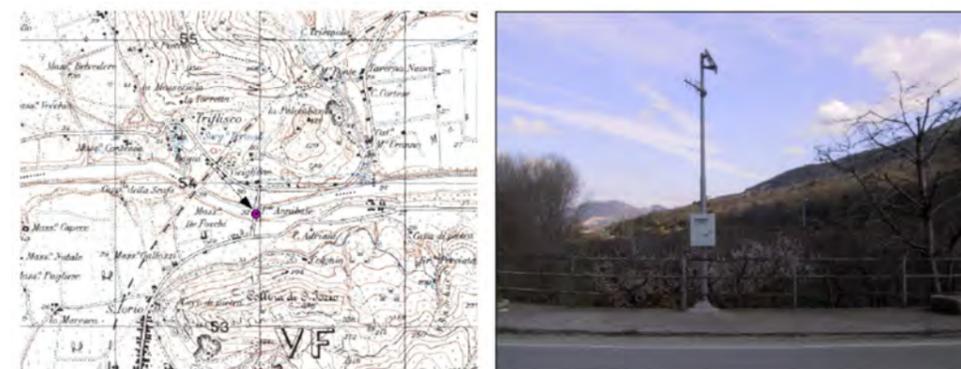
Valori delle massime quote idriche rilevati ai punti di misura (stadia graduata e misuratore di livello) gestiti dal Gestore/Concessionario della diga, ubicati immediatamente a monte ed a valle dello sbarramento (v. foto e tabella che seguono):



**Pinata con ubicazione dei punti di misura delle quote idriche, a monte (misuratore di livello) ed a valle della diga (Stadia graduata)**

**Stadia graduata (2), ubicata a valle della diga, sull'edificio "pozzo drenanti" (foto ripresa durante l'evento del 2015)**

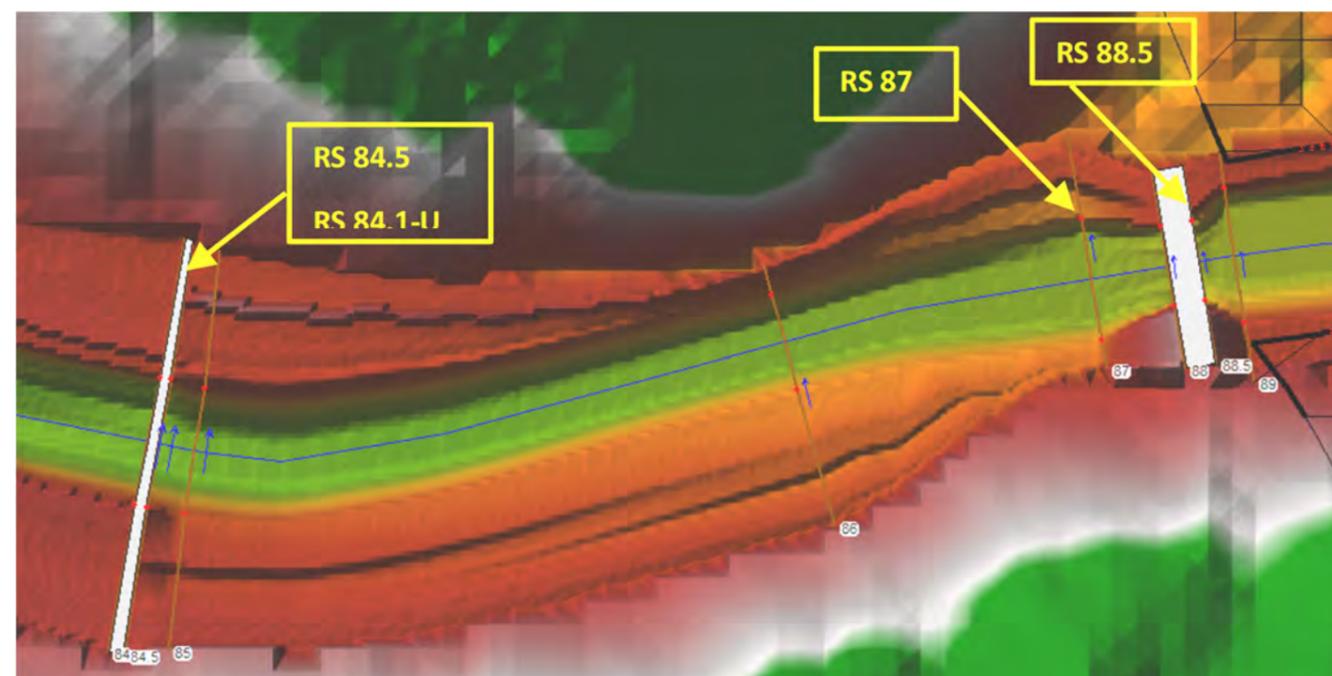
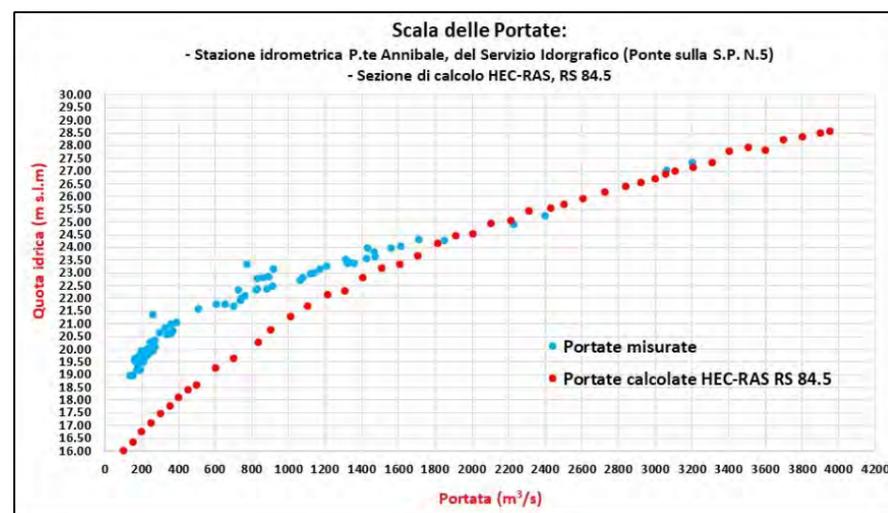
Valori dei massimi livelli idrici (e delle massime quote idriche) rilevati alla stazione idrometrica di "Ponte Annibale" gestita dal Servizio di Protezione Civile della Regione Campania, ubicata sul Ponte della Strada Provinciale N.5 "Galatina" – v. figure che seguono (zero idrometrico = 17,70 m s.l.m.), come riportati nella tabella che segue:



	Misuratore di livello a monte (1)	Stadia graduata a valle (2)	Stazione idrometrica "P.te Annibale" - Protezione Civile (zero idr. 17,70 m s.l.m.)	
	Quota idrica (m s.l.m.)	Quota idrica (m s.l.m.)	Livello idrico (m)	Quota idrica (m s.l.m.)
<b>EVENTO MARZO 2005</b>	27.56	27.20	9.40 (*)	27.10
<b>EVENTO OTTOBRE 2015</b>	27.61	27.37	9.42 (**)	27.12

(\*) livello idrico registrato alle ore 15.00 del giorno 5 marzo  
 (\*\*) livello idrico registrato alle ore 00.40 del giorno 16 ottobre

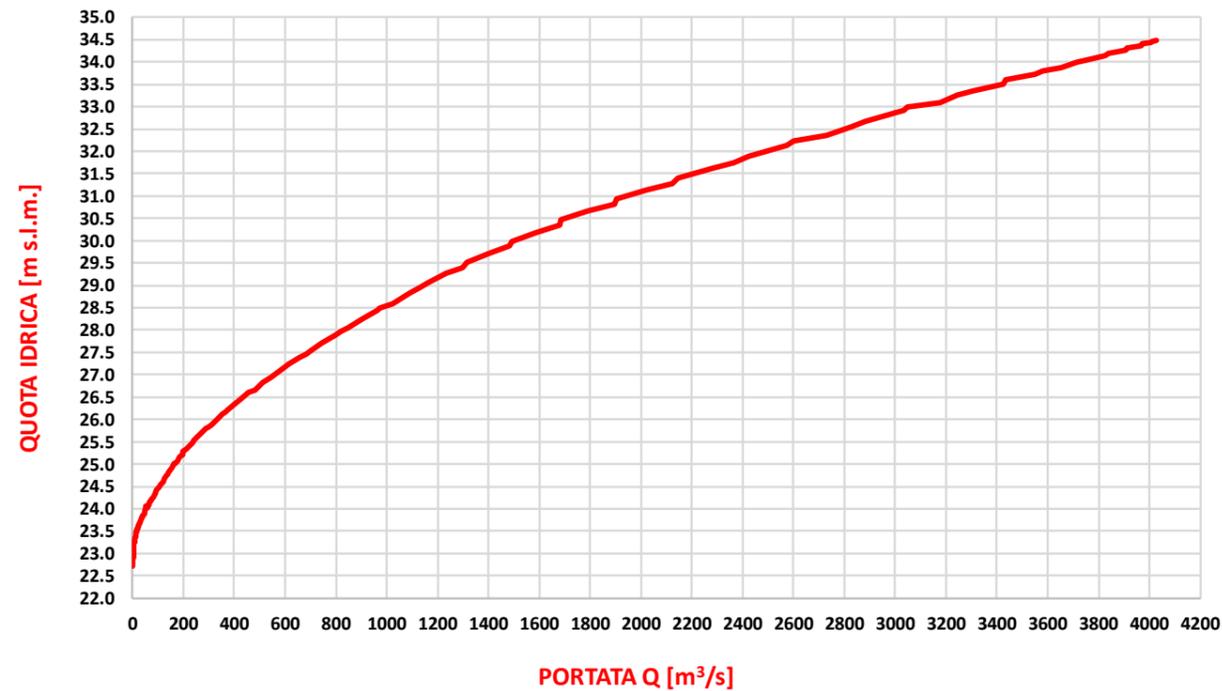
Ai fini della verifica dei risultati dei calcoli idraulici, sono state, quindi, ricostruite le scale di deflusso per le sezioni dell'alveo del Fiume Volturno preso in esame ed in particolare (v. figura) delle sezioni di calcolo RS 88.5 (Diga), RS 87 (valle Diga), RS 84.5 (monte Ponte S.P. N.5) ed RS 84.1-U (Ponte S.P. N.5), i cui parametri idraulici sono stati definiti a seguito dei calcoli di verifica idraulica svolti.



## STAZIONE IDROMETRICA DI PONTE LIMATOLA

### SCALA DI DEFLUSSO SEZIONE P.TE LIMATOLA (IDROMETRO)

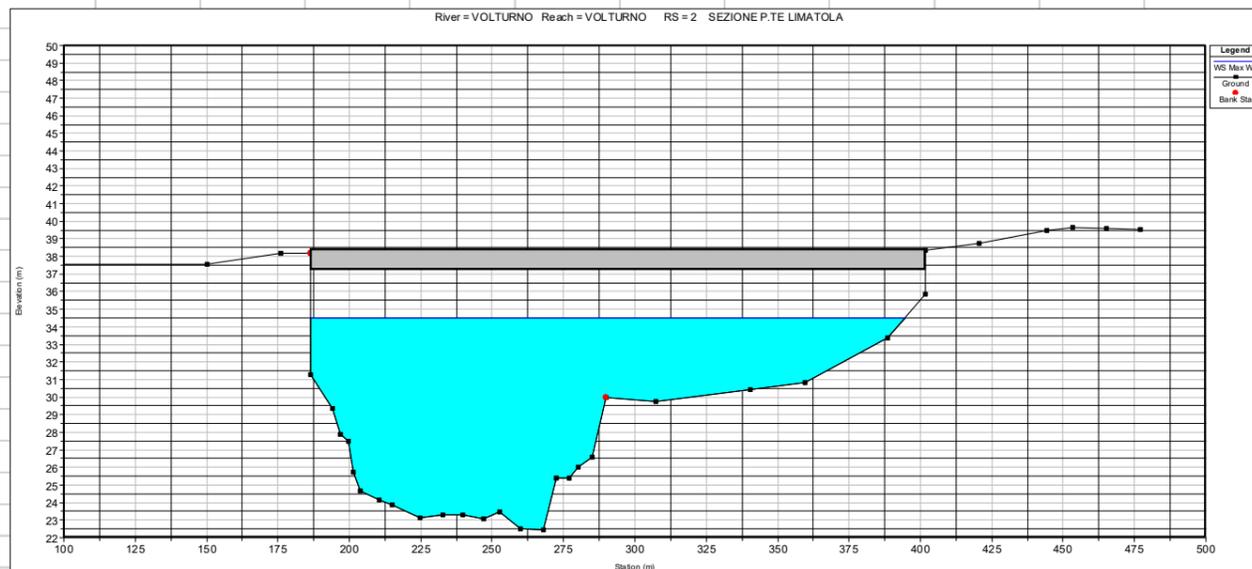
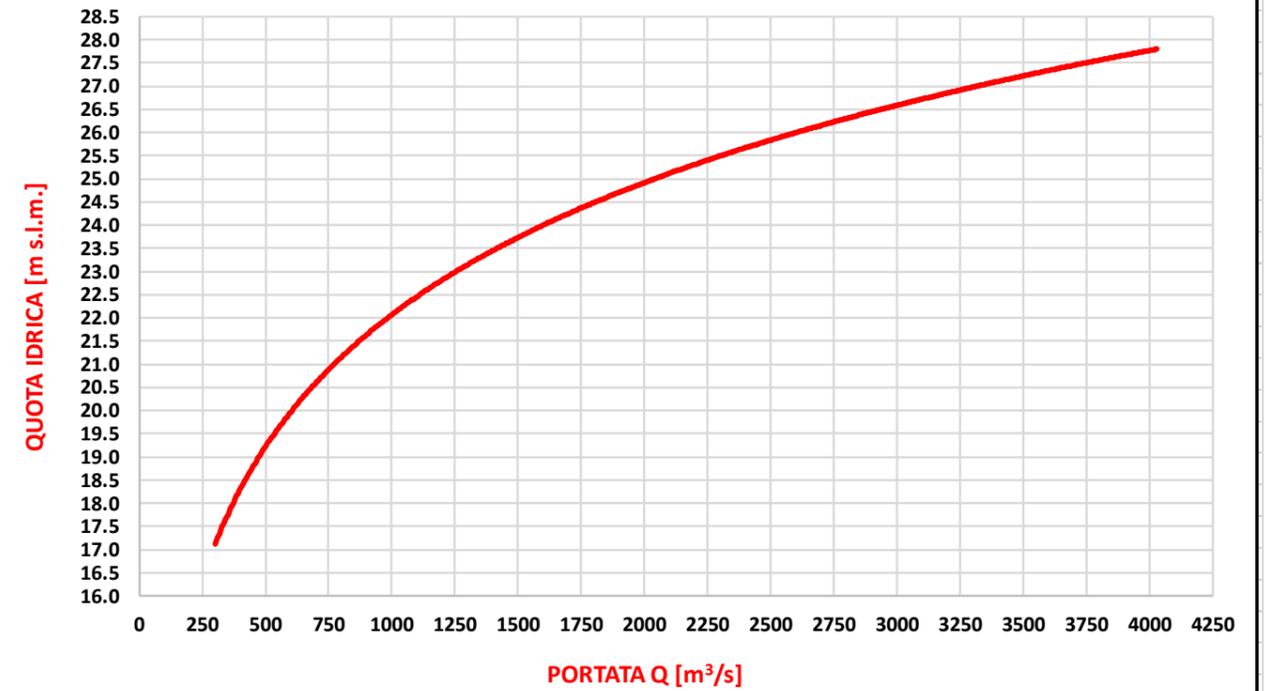
Zero idrometrico = 26.0 m s.l.m.



## STAZIONE IDROMETRICA DI PONTE ANNIBALE

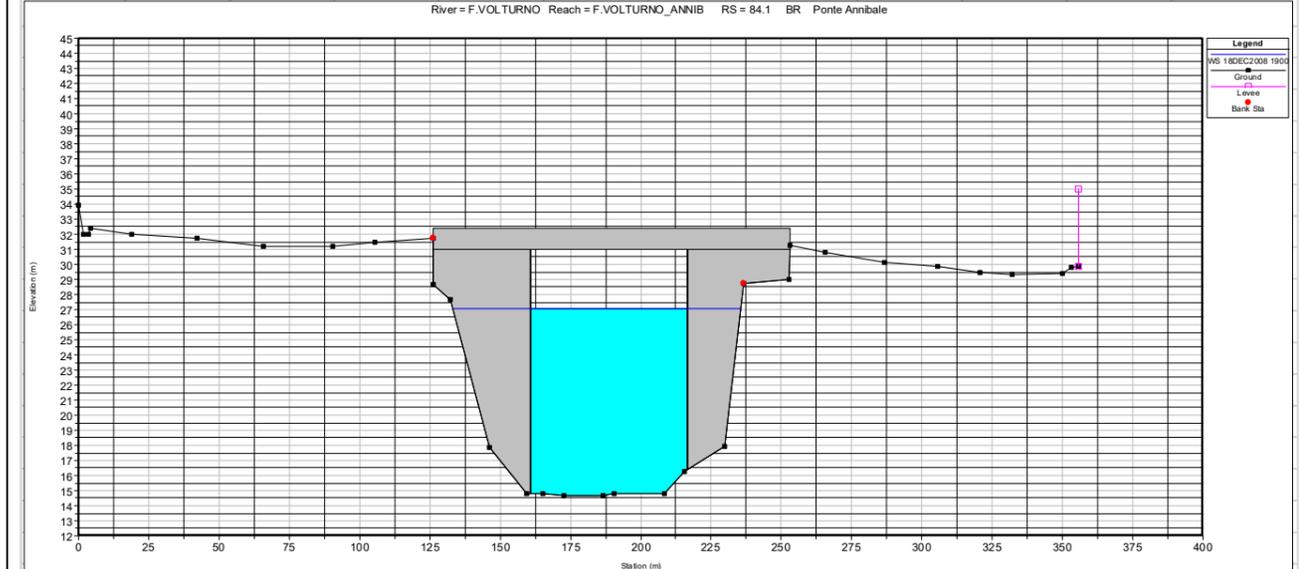
### SCALA DI DEFLUSSO SEZIONE P.TE ANNIBALE (IDROMETRO)

Zero idrometrico = 17.7 m s.l.m.



LIVELLO IDRICO MASSIMO (COLMO DI PIENA) = 7,44 m - QUOTA IDRICA MASSIMA = 33,44 m s.l.m.

Q Total	Min Ch El	Max Chl Dpth	Vel Total	Flow Area	W.P. Total	Hydr Radius	Top Width	W.S. Elev	E.G. Elev	E.G. Slope	Froude # XS
(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m/s)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	
3245.3	22.47	10.78	2.88	1126.14	206.86	5.44	200.97	33.25	33.83	0.000826	0.45



LIVELLO IDRICO MASSIMO (COLMO DI PIENA) = 9,42 m - QUOTA IDRICA MASSIMA = 27,12 m s.l.m.

Q Total	Min Ch El	Max Chl Dpth	Vel Total	Flow Area	W.P. Total	Hydr Radius	Top Width	W.S. Elev	E.G. Elev	E.G. Slope	Froude # XS
(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m/s)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	
3256.21	14.65	12.41	4.79	679.55	78.78	8.63	55.66	27.06	28.23	0.001059	0.44

												COLMO DI PIENA: $Y_{max}$ [m s.l.m.] - $Q_{max}$ [m <sup>3</sup> /s] - Time						
												P.te Annibale (zero idr. = 17.3 m s.l.m.)			P.te Limatola (zero idr. = 26 m s.l.m.)			
N.	ANNO	MESE	INVASO	Inizio apertura scarichi di fondo (settori) (raggiunta quota 20.50 circa a valle)	Livello (m) e Quota idrica a P.te Annibale (m s.l.m.)	Q a P.te Annibale (m <sup>3</sup> /s)	Livello (m) e Quota idrica a P.te Limatola (m s.l.m.)	Q a P.te Limatola (m <sup>3</sup> /s)	Tempo manovre	Quota idrica in diga (m s.l.m.) all'apertura totale dei settori	Q [m <sup>3</sup> /s]	$Y_{max}$ [m s.l.m.]	$Q_{max}$ [m <sup>3</sup> /s]	Time	$Y_{max}$ [m s.l.m.]	$Q_{max}$ [m <sup>3</sup> /s]	Time	
1	2004	dicembre	si	23:00 - 26.12	2.70 - 20.40	710	2.28 - 28.28	875	8 ore	24.50 (diga)	1635	25.25 (L <sub>max</sub> = 755 cm)	2210	19:00	30.57 (L <sub>max</sub> = 457 cm)	1735	16:00	3
2	2005	24 febbraio	si	05:00 - 24.02	2.93 - 20.63	750	2.54 - 28.54	970	si richiude	21.50 (valle diga)	685	21.89 (L <sub>max</sub> = 419 cm)	1005	13:00	28.81 (L <sub>max</sub> = 281 cm)	1050	10:00	3
3		4-5 marzo	si	15:00 - 04.03	3.73 - 21.43	890	3.07 - 29.07	1160	8 ore	27.46 (diga)	3280	27.10 (L <sub>max</sub> = 940 cm)	3260	13:30	33.23 (L <sub>max</sub> = 723 cm)	3240	10:00	3.5
4		28-29 novembre	si	06:00 - 28.11	3.39 - 21.09	830	2.67 - 28.67	1020	si richiude	22.20 (valle diga)	905	22.33 (L <sub>max</sub> = 463 cm)	1075	11:00	28.81 (L <sub>max</sub> = 281 cm)	1050	8:00	3
5		4-7 dicembre	no	8:00 - 04.12 *	3.13 - 20.83	785	1.70 - 27.70	740	-	23.15 (valle diga)	1160	23.09 (L <sub>max</sub> = 539 cm)	1250	22:00	28.90 (L <sub>max</sub> = 290 cm)	1090	19:00	3
6		28 dicembre	si	01:00 - 28.12	2.72 - 20.42	715	2.61 - 28.61	1000	14 ore	25.20 (diga)	1975	25.01 (L <sub>max</sub> = 731 cm)	2040	15:00	30.60 (L <sub>max</sub> = 460 cm)	1740	11:00	4
7	2006	2 gennaio	no	21:00 - 01.01	2.69 - 20.39	710	1.80 - 27.80	745	-	26.18 (diga)	2490	25.94 (L <sub>max</sub> = 824 cm)	2660	23:00	31.78 (L <sub>max</sub> = 578 cm)	2320	20:00	3
8		6 marzo	si parziale	16:00 - 06.03	2.65 - 20.35	705	2.50 - 28.50	960	si richiude	21.50 (valle diga)	685	21.60 (L <sub>max</sub> = 390 cm)	930	7:00	28.75 (L <sub>max</sub> = 275 cm)	1025	4:00	3
9		11 marzo	no	23:00 - 11.03	2.70 - 20.40	710	2.63 - 28.63	1010	si richiude	23.60 (valle diga)	1285	23.30 (L <sub>max</sub> = 560 cm)	1360	14:00	29.52 (L <sub>max</sub> = 352 cm)	1305	10:00	4
10	2008	24 marzo	si	04:00 - 24.03	2.80 - 20.50	730	1.93 - 27.93	795	si richiude	21.00 (valle diga)	495	20.70 (L <sub>max</sub> = 300 cm)	760	14:00	28.00 (L <sub>max</sub> = 200 cm)	830	6:00	8
11		12 dicembre	si	11:00 - 12.12	2.90 - 20.60	745	2.25 - 28.25	870	si richiude	21.50 (valle diga)	685	21.25 (L <sub>max</sub> = 355 cm)	865	22:00	28.31 (L <sub>max</sub> = 231 cm)	900	13:00	9
12	2009	1-3 gennaio	si	16:00 - 03.01	3.90 - 21.60	930	2.88 - 28.88	1075	8 ore	24.80 (diga)	1750	24.50 (L <sub>max</sub> = 680 cm)	1800	23:00	31.17 (L <sub>max</sub> = 517 cm)	1980	19:00	4
13		14-17 gennaio	si	22:00 - 14.01	3.00 - 20.70	760	2.47 - 28.47	955	si richiude	21.50 (valle diga)	685	21.25 (L <sub>max</sub> = 355 cm)	865	6:00	28.56 (L <sub>max</sub> = 256 cm)	980	2:00	4
14		21-24 gennaio	si	20:00 - 23.01	2.90 - 20.60	745	2.35 - 28.35	910	11 ore	22.50 (diga)	980	22.20 (L <sub>max</sub> = 450 cm)	1045	5:00	28.37 (L <sub>max</sub> = 237 cm)	915	21:00	8
15		27-28 gennaio	no	7:00 - 27.01	2.98 - 20.68	755	1.58 - 27.58	690	-	23.20 (diga)	1175	23.15 (L <sub>max</sub> = 545 cm)	1315	3:00	28.63 (L <sub>max</sub> = 263 cm)	1010	23:00	4
16		2-5 marzo	si	12:00 - 05.03	3.05 - 20.75	770	2.47 - 28.47	955	12 ore	24.80 (diga)	1750	24.50 (L <sub>max</sub> = 680 cm)	1800	3:00	30.45 (L <sub>max</sub> = 445 cm)	1680	23:00	4
17	2010	1-2 gennaio	si	09:30 - 02.01	2.85 - 20.55	735	2.92 - 28.92	1130	10 ore	23.92 (diga)	1400	23.50 (L <sub>max</sub> = 580 cm)	1375	13:00	29.00 (L <sub>max</sub> = 300 cm)	1140	10:00	3
18		9-10 gennaio	no	00:00 - 09.01	2.80 - 20.50	730	1.53 - 27.53	690	-	24.00 (diga)	1450	23.67 (L <sub>max</sub> = 597 cm)	1420	0:00	28.98 (L <sub>max</sub> = 298 cm)	1135	21:30	3.5
19		10 marzo	si	09:30 - 10.03	3.40 - 21.10	830	2.37 - 28.37	910	11 ore	23.06 (diga)	1135	23.27 (L <sub>max</sub> = 557 cm)	1355	19:00	28.70 (L <sub>max</sub> = 270 cm)	1025	15:00	4
20		8-10 novembre	si parziale	04:00 - 10.11	4.00 - 21.70	950	2.46 - 28.46	955	9 ore	24.50 (diga)	1635	24.20 (L <sub>max</sub> = 650 cm)	1650	15:00	29.15 (L <sub>max</sub> = 315 cm)	1160	12:00	3
21		22 novembre	no	20:00 - 22.11	2.44 - 20.14	670	1.32 - 27.32	615	-	23.70 (diga)	1360	23.24 (L <sub>max</sub> = 554 cm)	1295	18:00	28.88 (L <sub>max</sub> = 288 cm)	1070	15:00	3
22	2011	5-6 marzo	si	13:00 - 05.03	3.30 - 21.00	810	2.28 - 28.28	875	12 ore	24.16 (diga)	1550	24.43 (L <sub>max</sub> = 673 cm)	1720	12:00	29.80 (L <sub>max</sub> = 380 cm)	1380	9:00	3
23		17 marzo	si	12:00 - 17.03	2.75 - 20.45	730	2.64 - 28.64	1010	12 ore	23.64 (diga)	1295	23.54 (L <sub>max</sub> = 584 cm)	1390	18:30	29.48 (L <sub>max</sub> = 348 cm)	1310	16:30	2
24	2013	14-15 gennaio	si	13:10 - 15.01	2.95 - 20.65	750	2.35 - 28.35	910	8 ore	23.10 (diga)	1145	22.85 (L <sub>max</sub> = 525 cm)	1170	21:20	28.40 (L <sub>max</sub> = 240 cm)	950	14:10	7
25		12-13 febbraio	si	16:45 - 12.02	2.69 - 20.39	710	2.33 - 28.33	910	11 ore	23.95 (diga)	1400	23.62 (L <sub>max</sub> = 602 cm)	1430	3:50	28.78 (L <sub>max</sub> = 278 cm)	1040	0:50	3
26		23-25 febbraio	si	23:30 - 24.02	3.10 - 20.80	780	1.83 - 27.83	750	9 ore	22.55 (diga)	1000	22.27 (L <sub>max</sub> = 467 cm)	1070	3:20	27.85 (L <sub>max</sub> = 185 cm)	770	22:10	5
27		3 marzo	si parziale	18:00 - 04.03	2.80 - 20.50	730	1.67 - 27.67	715	-	22.30 (diga)	930	21.97 (L <sub>max</sub> = 437 cm)	990	14:40	28.08 (L <sub>max</sub> = 208 cm)	840	11:40	3
28		12-13 marzo	si	23:20 - 12.03	2.35 - 20.05	645	1.93 - 27.93	795	5 ore	22.70 (diga)	1060	22.49 (L <sub>max</sub> = 489 cm)	1110	4:30	27.94 (L <sub>max</sub> = 194 cm)	795	23:40	5
29	2 dicembre	si	09:00 - 02.12	2.78 - 20.48	720	2.35 - 28.35	910	9 ore	22.75 (diga)	1065	22.53 (L <sub>max</sub> = 493 cm)	1115	14:50	28.37 (L <sub>max</sub> = 237 cm)	920	8:20	6.5	
30	2014	20-21 gennaio	si	06:00 - 21.01	2.93 - 20.63	745	2.31 - 28.31	900	11 ore	23.75 (diga)	1370	23.54 (L <sub>max</sub> = 594 cm)	1420	17:20	28.63 (L <sub>max</sub> = 263 cm)	1010	15:20	3
31	2015	4-5 febbraio	no	09:00 - 04.02 *	2.76 - 20.46	730	1.39 - 27.39	640	-	23.15 (diga)	1160	22.85 (L <sub>max</sub> = 525 cm)	1170	23:50	28.57 (L <sub>max</sub> = 257 cm)	980	20:30	3.2
32		15 ottobre	no	8:00 - 15.10 *	2.80 - 20.50	730	2.17 - 28.17	850	-	27.42 (diga)	3260	27.12 (L <sub>max</sub> = 942 cm)	3270	23:30	33.44 (L <sub>max</sub> = 744 cm)	3310	19:40	4
33	2016	15 febbraio	si	12:00 - 15.02	2.76 - 20.46	725	1.86 - 27.86	755	10 ore	22.55 (diga)	1000	23.05 (L <sub>max</sub> = 545 cm)	1315	18:30	27.93 (L <sub>max</sub> = 193 cm)	795	14:10	4.2
34		13 marzo	no	13:00 - 13.03 *	2.80 - 20.50	730	1.50 - 27.50	685	-	22.50 (diga)	980	22.21 (L <sub>max</sub> = 461 cm)	1060	22:10	28.10 (L <sub>max</sub> = 210 cm)	845	19:10	3
35	2017	16 dicembre	si	2:00 - 16.12	2.80 - 20.50	730	2.09 - 28.09	830	8 ore	23.15 (diga)	1160	22.93 (L <sub>max</sub> = 533 cm)	1215	17:50	28.83 (L <sub>max</sub> = 283 cm)	1065	14:30	3.2
36		27-28 dicembre	si	19:00 - 28.12	3.10 - 20.80	780	2.14 - 28.14	840	8 ore	23.40 (diga)	1230	23.36 (L <sub>max</sub> = 566 cm)	1345	1:00	28.23 (L <sub>max</sub> = 223 cm)	870	20:30	4.5
37	2018	7-8 febbraio	si	22:40 - 07.02	4.20 - 21.90	1005	2.59 - 28.59	975	9 ore	24.00 (diga)	1450	23.40 (L <sub>max</sub> = 580 cm)	1370	8:20	28.70 (L <sub>max</sub> = 270 cm)	1025	2:50	5
38		21 marzo	si	12:00 - 21.03	3.70 - 21.40	885	2.55 - 28.55	970	10 ore	23.60 (diga)	1290	23.35 (L <sub>max</sub> = 565 cm)	1345	18:00	28.64 (L <sub>max</sub> = 264 cm)	1010	13:00	5

(\*) = A diga completamente aperta, raggiungimento della quota in alveo a valle della diga di 20,5 m s.l.m.

Diga                      *media*                      P.te Annibale Idro.                      *media (max)*                      P.te Limatola Idro.                      *media (max)*  
1340.66                      17.7                      1443.16                      26.0                      1244.61

SOGLIE DI PIENA ORDINARIE E STRAORDINARIE PROTEZIONE CIVILE

ORDINARIA      STRAORDINARIA

Idrometro Ponte Annibale	750	850
Idrometro Ponte Limatola	450	550

												COLMO DI PIENA: Y <sub>max</sub> [m s.l.m.] - Q <sub>max</sub> [m <sup>3</sup> /s] - Time						
												P.te Annibale (zero idr. = 17.3 m s.l.m.)			P.te Limatola (zero idr. = 26 m s.l.m.)			
N.	ANNO	MESE	INVASO	Inizio apertura scarichi di fondo (settori) (raggiunta quota 20.50 circa a valle)	Livello (m) e Quota idrica a P.te Annibale (m s.l.m.)	Q a P.te Annibale (m <sup>3</sup> /s)	Livello (m) e Quota idrica a P.te Limatola (m s.l.m.)	Q a P.te Limatola (m <sup>3</sup> /s)	Tempo manovre	Quota idrica in diga (m s.l.m.) all'apertura totale dei settori	Q [m <sup>3</sup> /s]	Y <sub>max</sub> [m s.l.m.]	Q <sub>max</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Time	Y <sub>max</sub> [m s.l.m.]	Q <sub>max</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Time	
1	2004	dicembre	si	23:00 - 26.12	2.70 - 20.40	710	2.28 - 28.28	875	8 ore	24.50 (diga)	1635	25.25 (L <sub>max</sub> = 755 cm)	2210	19:00	30.57 (L <sub>max</sub> = 457 cm)	1735	16:00	3
2	2005	24 febbraio	si	05:00 - 24.02	2.93 - 20.63	750	2.54 - 28.54	970	si richiude	21.50 (valle diga)	685	21.89 (L <sub>max</sub> = 419 cm)	1005	13:00	28.81 (L <sub>max</sub> = 281 cm)	1050	10:00	3
3		4-5 marzo	si	15:00 - 04.03	3.73 - 21.43	890	3.07 - 29.07	1160	8 ore	27.46 (diga)	3280	27.10 (L <sub>max</sub> = 940 cm)	3260	13:30	33.23 (L <sub>max</sub> = 723 cm)	3240	10:00	3.5
4		28-29 novembre	si	06:00 - 28.11	3.39 - 21.09	830	2.67 - 28.67	1020	si richiude	22.20 (valle diga)	905	22.33 (L <sub>max</sub> = 463 cm)	1075	11:00	28.81 (L <sub>max</sub> = 281 cm)	1050	8:00	3
5		4-7 dicembre	no	8:00 - 04.12 *	3.13 - 20.83	785	1.70 - 27.70	740	-	23.15 (valle diga)	1160	23.09 (L <sub>max</sub> = 539 cm)	1250	22:00	28.90 (L <sub>max</sub> = 290 cm)	1090	19:00	3
6		28 dicembre	si	01:00 - 28.12	2.72 - 20.42	715	2.61 - 28.61	1000	14 ore	25.20 (diga)	1975	25.01 (L <sub>max</sub> = 731 cm)	2040	15:00	30.60 (L <sub>max</sub> = 460 cm)	1740	11:00	4
7	2006	2 gennaio	no	21:00 - 01.01	2.69 - 20.39	710	1.80 - 27.80	745	-	26.18 (diga)	2490	25.94 (L <sub>max</sub> = 824 cm)	2660	23:00	31.78 (L <sub>max</sub> = 578 cm)	2320	20:00	3
8		6 marzo	si parziale	16:00 - 06.03	2.65 - 20.35	705	2.50 - 28.50	960	si richiude	21.50 (valle diga)	685	21.60 (L <sub>max</sub> = 390 cm)	930	7:00	28.75 (L <sub>max</sub> = 275 cm)	1025	4:00	3
9		11 marzo	no	23:00 - 11.03	2.70 - 20.40	710	2.63 - 28.63	1010	si richiude	23.60 (valle diga)	1285	23.30 (L <sub>max</sub> = 560 cm)	1360	14:00	29.52 (L <sub>max</sub> = 352 cm)	1305	10:00	4
10	2008	24 marzo	si	04:00 - 24.03	2.80 - 20.50	730	1.93 - 27.93	795	si richiude	21.00 (valle diga)	495	20.70 (L <sub>max</sub> = 300 cm)	760	14:00	28.00 (L <sub>max</sub> = 200 cm)	830	6:00	8
11		12 dicembre	si	11:00 - 12.12	2.90 - 20.60	745	2.25 - 28.25	870	si richiude	21.50 (valle diga)	685	21.25 (L <sub>max</sub> = 355 cm)	865	22:00	28.31 (L <sub>max</sub> = 231 cm)	900	13:00	9
12	2009	1-3 gennaio	si	16:00 - 03.01	3.90 - 21.60	930	2.88 - 28.88	1075	8 ore	24.80 (diga)	1750	24.50 (L <sub>max</sub> = 680 cm)	1800	23:00	31.17 (L <sub>max</sub> = 517 cm)	1980	19:00	4
13		14-17 gennaio	si	22:00 - 14.01	3.00 - 20.70	760	2.47 - 28.47	955	si richiude	21.50 (valle diga)	685	21.25 (L <sub>max</sub> = 355 cm)	865	6:00	28.56 (L <sub>max</sub> = 256 cm)	980	2:00	4
14		21-24 gennaio	si	20:00 - 23.01	2.90 - 20.60	745	2.35 - 28.35	910	11 ore	22.50 (diga)	980	22.20 (L <sub>max</sub> = 450 cm)	1045	5:00	28.37 (L <sub>max</sub> = 237 cm)	915	21:00	8
15		27-28 gennaio	no	7:00 - 27.01	2.98 - 20.68	755	1.58 - 27.58	690	-	23.20 (diga)	1175	23.15 (L <sub>max</sub> = 545 cm)	1315	3:00	28.63 (L <sub>max</sub> = 263 cm)	1010	23:00	4
16	2-5 marzo	si	12:00 - 05.03	3.05 - 20.75	770	2.47 - 28.47	955	12 ore	24.80 (diga)	1750	24.50 (L <sub>max</sub> = 680 cm)	1800	3:00	30.45 (L <sub>max</sub> = 445 cm)	1680	23:00	4	
17	2010	1-2 gennaio	si	09:30 - 02.01	2.85 - 20.55	735	2.92 - 28.92	1130	10 ore	23.92 (diga)	1400	23.50 (L <sub>max</sub> = 580 cm)	1375	13:00	29.00 (L <sub>max</sub> = 300 cm)	1140	10:00	3
18		9-10 gennaio	no	00:00 - 09.01	2.80 - 20.50	730	1.53 - 27.53	690	-	24.00 (diga)	1450	23.67 (L <sub>max</sub> = 597 cm)	1420	0:00	28.98 (L <sub>max</sub> = 298 cm)	1135	21:30	3.5
19		10 marzo	si	09:30 - 10.03	3.40 - 21.10	830	2.37 - 28.37	910	11 ore	23.06 (diga)	1135	23.27 (L <sub>max</sub> = 557 cm)	1355	19:00	28.70 (L <sub>max</sub> = 270 cm)	1025	15:00	4
20		8-10 novembre	si parziale	04:00 - 10.11	4.00 - 21.70	950	2.46 - 28.46	955	9 ore	24.50 (diga)	1635	24.20 (L <sub>max</sub> = 650 cm)	1650	15:00	29.15 (L <sub>max</sub> = 315 cm)	1160	12:00	3
21		22 novembre	no	20:00 - 22.11	2.44 - 20.14	670	1.32 - 27.32	615	-	23.70 (diga)	1360	23.24 (L <sub>max</sub> = 554 cm)	1295	18:00	28.88 (L <sub>max</sub> = 288 cm)	1070	15:00	3
22	2011	5-6 marzo	si	13:00 - 05.03	3.30 - 21.00	810	2.28 - 28.28	875	12 ore	24.16 (diga)	1550	24.43 (L <sub>max</sub> = 673 cm)	1720	12:00	29.80 (L <sub>max</sub> = 380 cm)	1380	9:00	3
23		17 marzo	si	12:00 - 17.03	2.75 - 20.45	730	2.64 - 28.64	1010	12 ore	23.64 (diga)	1295	23.54 (L <sub>max</sub> = 584 cm)	1390	18:30	29.48 (L <sub>max</sub> = 348 cm)	1310	16:30	2
24	2013	14-15 gennaio	si	13:10 - 15.01	2.95 - 20.65	750	2.35 - 28.35	910	8 ore	23.10 (diga)	1145	22.85 (L <sub>max</sub> = 525 cm)	1170	21:20	28.40 (L <sub>max</sub> = 240 cm)	950	14:10	7
25		12-13 febbraio	si	16:45 - 12.02	2.69 - 20.39	710	2.33 - 28.33	910	11 ore	23.95 (diga)	1400	23.62 (L <sub>max</sub> = 602 cm)	1430	3:50	28.78 (L <sub>max</sub> = 278 cm)	1040	0:50	3
26		23-25 febbraio	si	23:30 - 24.02	3.10 - 20.80	780	1.83 - 27.83	750	9 ore	22.55 (diga)	1000	22.27 (L <sub>max</sub> = 467 cm)	1070	3:20	27.85 (L <sub>max</sub> = 185 cm)	770	22:10	5
27		3 marzo	si parziale	18:00 - 04.03	2.80 - 20.50	730	1.67 - 27.67	715	-	22.30 (diga)	930	21.97 (L <sub>max</sub> = 437 cm)	990	14:40	28.08 (L <sub>max</sub> = 208 cm)	840	11:40	3
28		12-13 marzo	si	23:20 - 12.03	2.35 - 20.05	645	1.93 - 27.93	795	5 ore	22.70 (diga)	1060	22.49 (L <sub>max</sub> = 489 cm)	1110	4:30	27.94 (L <sub>max</sub> = 194 cm)	795	23:40	5
29	2 dicembre	si	09:00 - 02.12	2.78 - 20.48	720	2.35 - 28.35	910	9 ore	22.75 (diga)	1065	22.53 (L <sub>max</sub> = 493 cm)	1115	14:50	28.37 (L <sub>max</sub> = 237 cm)	920	8:20	6.5	
30	2014	20-21 gennaio	si	06:00 - 21.01	2.93 - 20.63	745	2.31 - 28.31	900	11 ore	23.75 (diga)	1370	23.54 (L <sub>max</sub> = 594 cm)	1420	17:20	28.63 (L <sub>max</sub> = 263 cm)	1010	15:20	3
31	2015	4-5 febbraio	no	09:00 - 04.02 *	2.76 - 20.46	730	1.39 - 27.39	640	-	23.15 (diga)	1160	22.85 (L <sub>max</sub> = 525 cm)	1170	23:50	28.57 (L <sub>max</sub> = 257 cm)	980	20:30	3.2
32		15 ottobre	no	8:00 - 15.10 *	2.80 - 20.50	730	2.17 - 28.17	850	-	27.42 (diga)	3260	27.12 (L <sub>max</sub> = 942 cm)	3270	23:30	33.44 (L <sub>max</sub> = 744 cm)	3310	19:40	4
33	2016	15 febbraio	si	12:00 - 15.02	2.76 - 20.46	725	1.86 - 27.86	755	10 ore	22.55 (diga)	1000	23.05 (L <sub>max</sub> = 545 cm)	1315	18:30	27.93 (L <sub>max</sub> = 193 cm)	795	14:10	4.2
34		13 marzo	no	13:00 - 13.03 *	2.80 - 20.50	730	1.50 - 27.50	685	-	22.50 (diga)	980	22.21 (L <sub>max</sub> = 461 cm)	1060	22:10	28.10 (L <sub>max</sub> = 210 cm)	845	19:10	3
35	2017	16 dicembre	si	2:00 - 16.12	2.80 - 20.50	730	2.09 - 28.09	830	8 ore	23.15 (diga)	1160	22.93 (L <sub>max</sub> = 533 cm)	1215	17:50	28.83 (L <sub>max</sub> = 283 cm)	1065	14:30	3.2
36		27-28 dicembre	si	19:00 - 28.12	3.10 - 20.80	780	2.14 - 28.14	840	8 ore	23.40 (diga)	1230	23.36 (L <sub>max</sub> = 566 cm)	1345	1:00	28.23 (L <sub>max</sub> = 223 cm)	870	20:30	4.5
37	2018	7-8 febbraio	si	22:40 - 07.02	4.20 - 21.90	1005	2.59 - 28.59	975	9 ore	24.00 (diga)	1450	23.40 (L <sub>max</sub> = 580 cm)	1370	8:20	28.70 (L <sub>max</sub> = 270 cm)	1025	2:50	5
38		21 marzo	si	12:00 - 21.03	3.70 - 21.40	885	2.55 - 28.55	970	10 ore	23.60 (diga)	1290	23.35 (L <sub>max</sub> = 565 cm)	1345	18:00	28.64 (L <sub>max</sub> = 264 cm)	1010	13:00	5

(\*) = A diga completamente aperta, raggiungimento della quota in alveo a valle della diga di 20,5 m s.l.m.

Diga                      *media*                      P.te Annibale Idro.                      *media (max)*                      P.te Limatola Idro.                      *media (max)*  
1340.66                      17.7                      1443.16                      26.0                      1244.61

SOGLIE DI PIENA ORDINARIE E STRAORDINARIE PROTEZIONE CIVILE

ORDINARIA      STRAORDINARIA

Idrometro Ponte Annibale	750	850
Idrometro Ponte Limatola	450	550

## N.38 EVENTI DI PIENA, DAL 2004 AL 2018:

- **N.29 (77%) IN PRESENZA DI INVASO (DIGA CHIUSA):**

- N.29 (100%) HANNO DATO LUOGO AL SUPERAMENTO DELLA QUOTA DI MASSIMA REGOLAZIONE (26,5 m s.l.m.)
- N.13 (45%) HANNO DATO LUOGO AL SUPERAMENTO DELLA QUOTA DI MASSIMO INVASO (26,6 m s.l.m.)

**FASE DI VIGILANZA RINFORZATA;**

**FASE DI PERICOLO;**

- **N.9 (23%) A BACINO SVASATO (DIGA APERTA);**

- **N.38 EVENTI (100%) CARATTERIZZATI, ALL'ISTANTE IN CUI SI SONO VERIFICATE LE CONDIZIONI DI SVASO (teoriche o effettive = 20,5 m s.l.m. a valle diga), DA LIVELLI IDROMETRICI REGISTRATI ALLE STAZIONI DI MISURA ABBONDANTEMENTE AL DI SOTTO DEI LIVELLI "SOGLIA DI PIENA" (ORDINARIA – T=2 ANNI e STRAORDINARIA – T = 10 ANNI) DEFINITE DALLA PROTEZIONE CIVILE (CFD):**

- AL COLMO DI PIENA, N.3 EVENTI (8%) HANNO SUPERATO LA SOGLIA DI PIENA ORDINARIA (T = 2 ANNI)
- AL COLMO DI PIENA, N.2 EVENTI (5%) HANNO SUPERATO LA SOGLIA DI PIENA STRAORDINARIA (T = 10 ANNI)

- **ALL'ISTANTE IN CUI SI SONO VERIFICATE LE CONDIZIONI DI SVASO (teoriche o effettive = 20,5 m s.l.m. a valle diga):**

- N.37 EVENTI (97%) SONO STATI CARATTERIZZATI DA UNA PORTATA A PONTE ANNIBALE  $< 1000 \text{ m}^3/\text{s}$ , CON  $Q_{\text{med}} = 770 \text{ m}^3/\text{s}$ ;

- **PER I N.38 EVENTI DI PIENA ESAMINATI:**

- N.2 EVENTI (5%) SONO STATI CARATTERIZZATI DA UNA PORTATA A PONTE ANNIBALE  $Q > 3000 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
- N.1 EVENTO (3%) E' STATO CARATTERIZZATO DA UNA PORTATA A PONTE ANNIBALE  $2.500 < Q < 3000 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
- N.1 EVENTO (3%) E' STATO CARATTERIZZATO DA UNA PORTATA A PONTE ANNIBALE  $2.000 < Q < 2500 \text{ m}^3/\text{s}$ ;

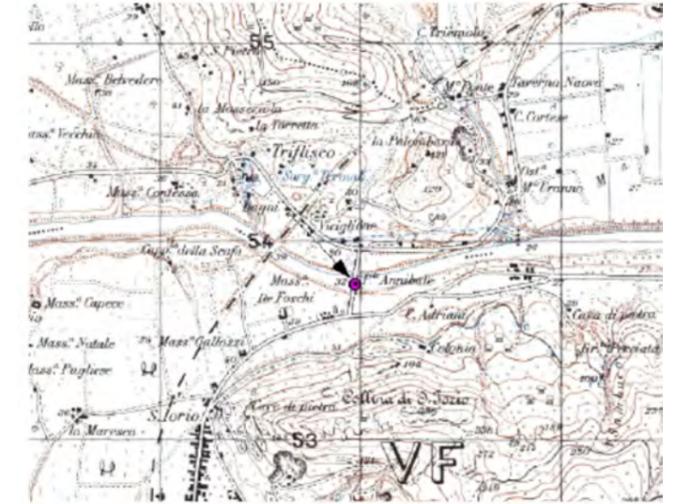
## EVENTI ECCEZIONALI A PONTE ANNIBALE: 2005 E 2015 A CONFRONTO



*Pinata con ubicazione dei punti di misura delle quote idriche, a monte (misuratore di livello) ed a valle della diga (Stadia graduata)*



*Stadia graduata (2), ubicata a valle della diga, sull'edificio "pozzetti drenanti" (foto ripresa durante l'evento del 2015)*

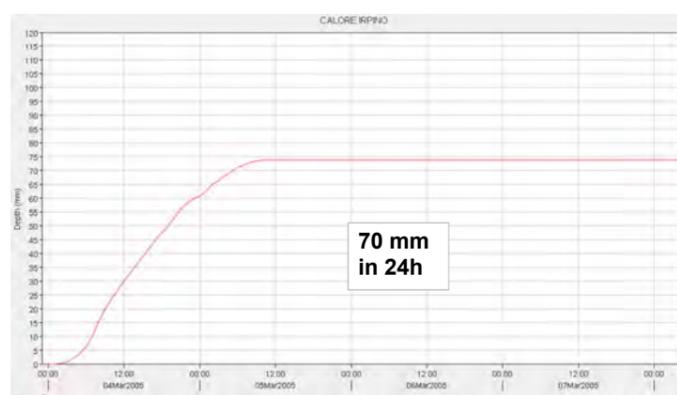
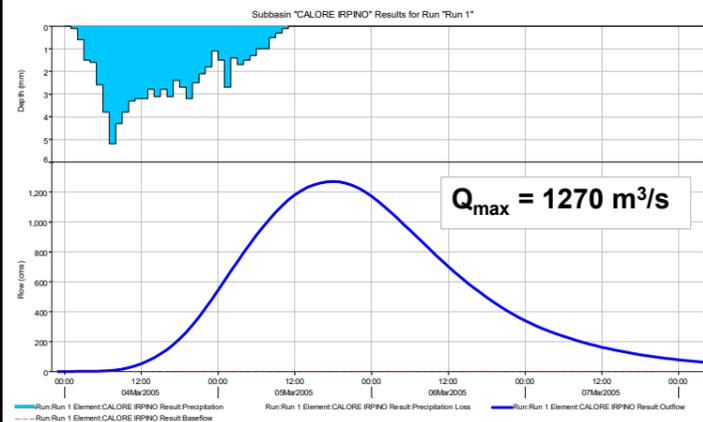


	Misuratore di livello a monte (1)	Stadia graduata a valle (2)	Stazione idrometrica "P.te Annibale" - Protezione Civile (zero idr. 17,70 m s.l.m.)	
	Quota idrica	Quota idrica	Livello idrico	Quota idrica
	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m)	(m s.l.m.)
<b>EVENTO MARZO 2005</b>	27.56	27.20	9.40 (*)	27.10
<b>EVENTO OTTOBRE 2015</b>	27.61	27.37	9.42 (**)	27.12

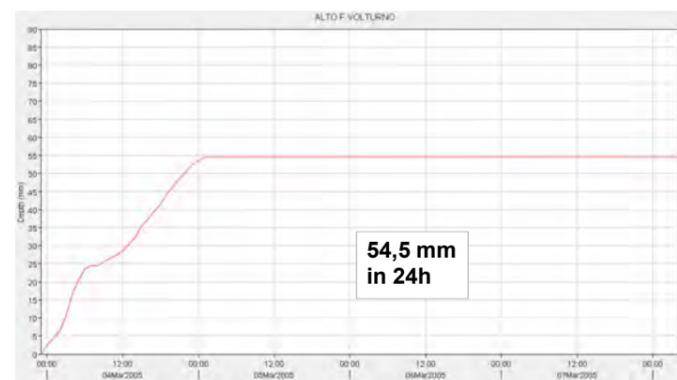
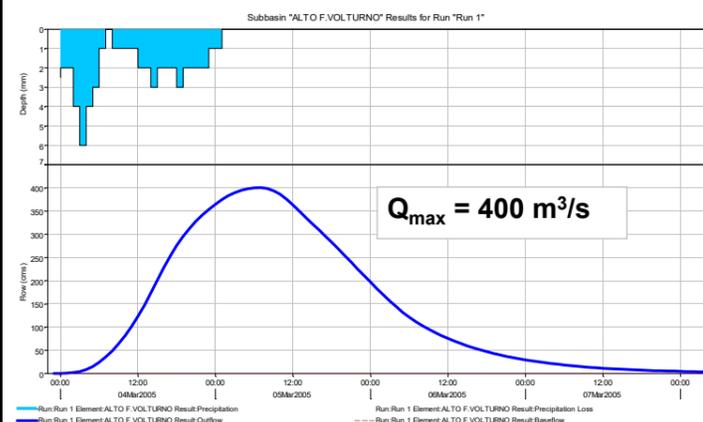
(\*) livello idrico registrato alle ore 15.00 del giorno 5 marzo

(\*\*) livello idrico registrato alle ore 00.40 del giorno 16 ottobre

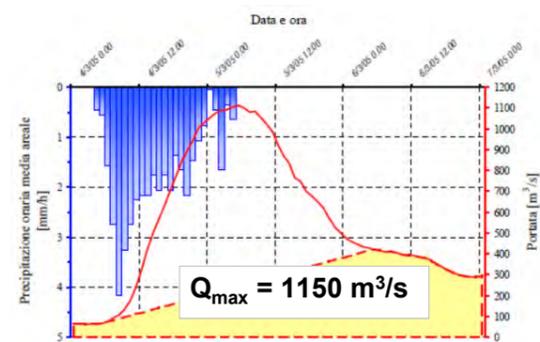
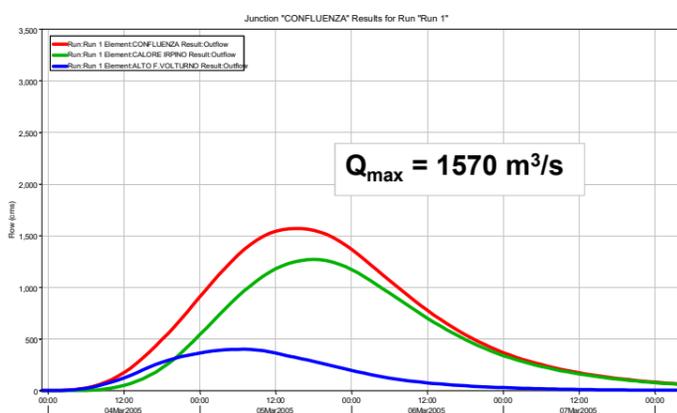
### EVENTO MARZO 2005



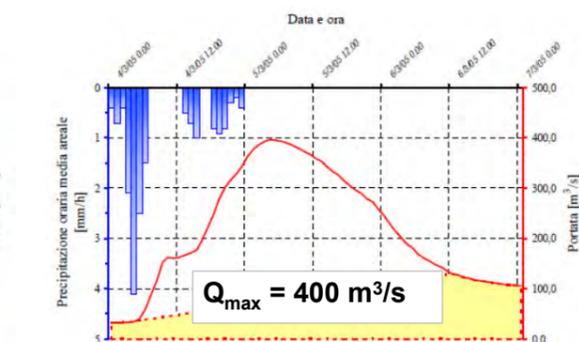
$S = 3.197 \text{ km}^2 - t_c = 1560 \text{ min} = 26 \text{ ore} - \text{Constant Rate} = 0,5 \text{ mm/h}$   
 Afflusso = 73,8 mm = 236 Mm<sup>3</sup> - Deflusso = 56,9 mm = 182 Mm<sup>3</sup>  
 Porta al colmo di piena  $Q_{\text{max}} = 1270 \text{ m}^3/\text{s}$  (ore 18:00 del 5.03.2005)



$S = 2.245 \text{ km}^2 - t_c = 1212 \text{ min} = 20,2 \text{ ore} - \text{Constant Rate} = 1,4 \text{ mm/h}$   
 Afflusso = 54,5 mm = 122,3 Mm<sup>3</sup> - Deflusso = 22,6 mm = 50,7 Mm<sup>3</sup>  
 Porta al colmo di piena  $Q_{\text{max}} = 400 \text{ m}^3/\text{s}$  (ore 07:00 del 5.03.2005)

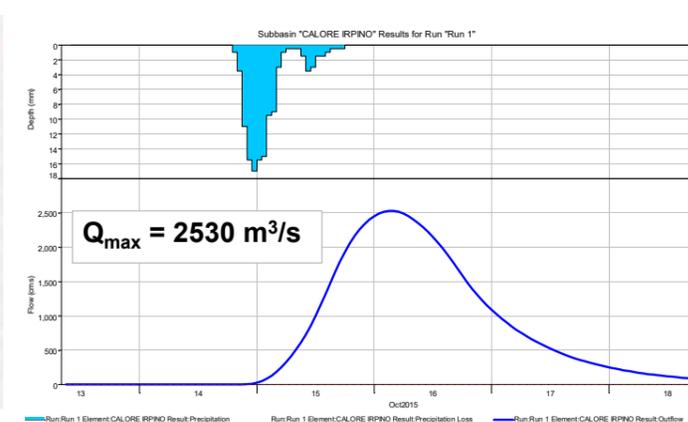
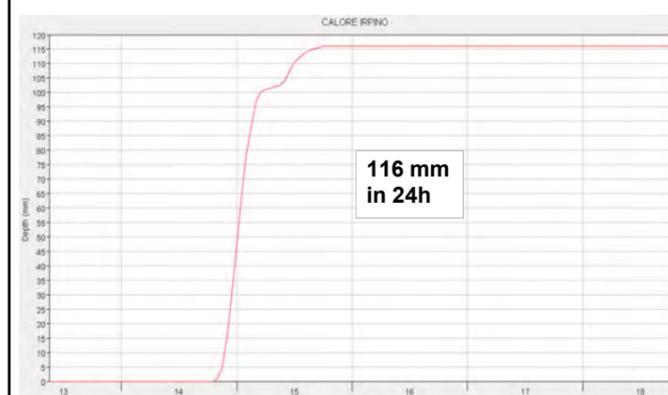


Ietogramma e idrogramma di piena per il bacino del Fiume Calore a Solopaca  
 Elaborazione Rapporto d'Evento del Centro Funzionale Regione Campania

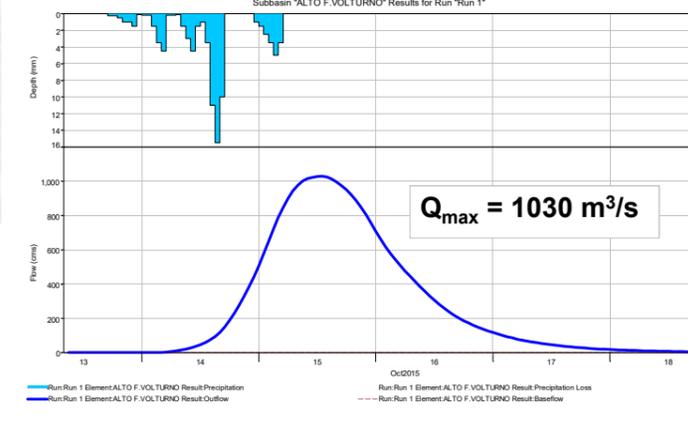
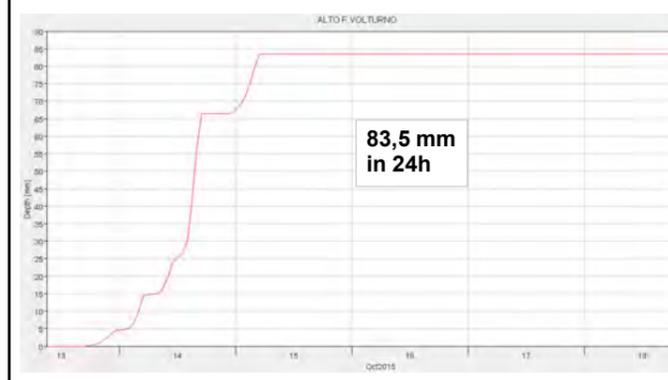


Ietogramma e idrogramma di piena per il bacino del Fiume Alto Volturno ad Amorosi  
 Elaborazione Rapporto d'Evento del Centro Funzionale Regione Campania

### EVENTO OTTOBRE 2015



$S = 3.197 \text{ km}^2 - t_c = 1560 \text{ min} = 26 \text{ ore} - \text{Constant Rate} = 0,5 \text{ mm/h}$   
 Afflusso = 116,0 mm = 370,8 Mm<sup>3</sup> - Deflusso = 98,5 mm = 315 Mm<sup>3</sup>  
 Porta al colmo di piena  $Q_{\text{max}} = 2530 \text{ m}^3/\text{s}$  (ore 03:00 del 16.10.2015)



$S = 2.245 \text{ km}^2 - t_c = 1212 \text{ min} = 20,2 \text{ ore} - \text{Constant Rate} = 1,4 \text{ mm/h}$   
 Afflusso = 83,5 mm = 187,5 Mm<sup>3</sup> - Deflusso = 54,0 mm = 121,0 Mm<sup>3</sup>  
 Porta al colmo di piena  $Q_{\text{max}} = 1030 \text{ m}^3/\text{s}$  (ore 13:00 del 15.10.2015)

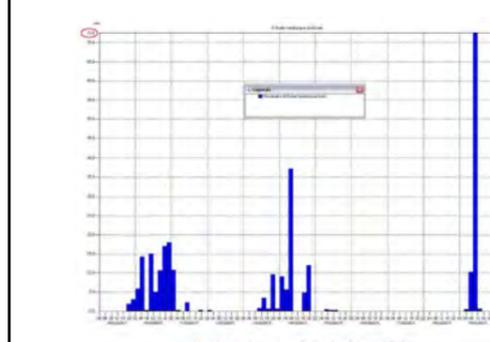
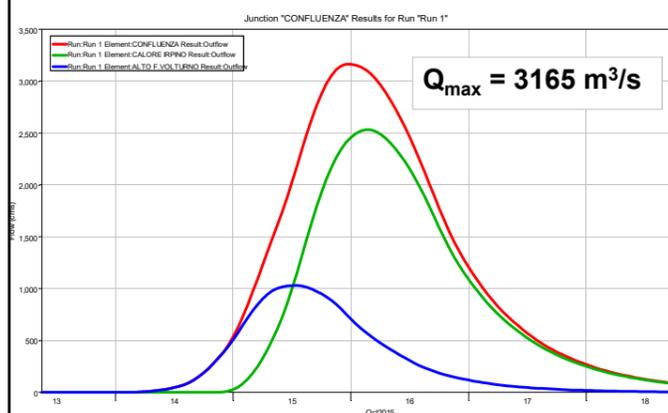
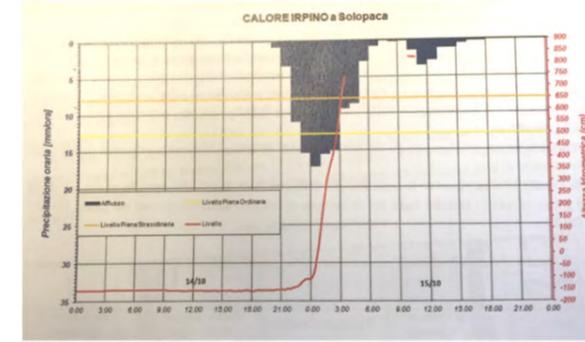


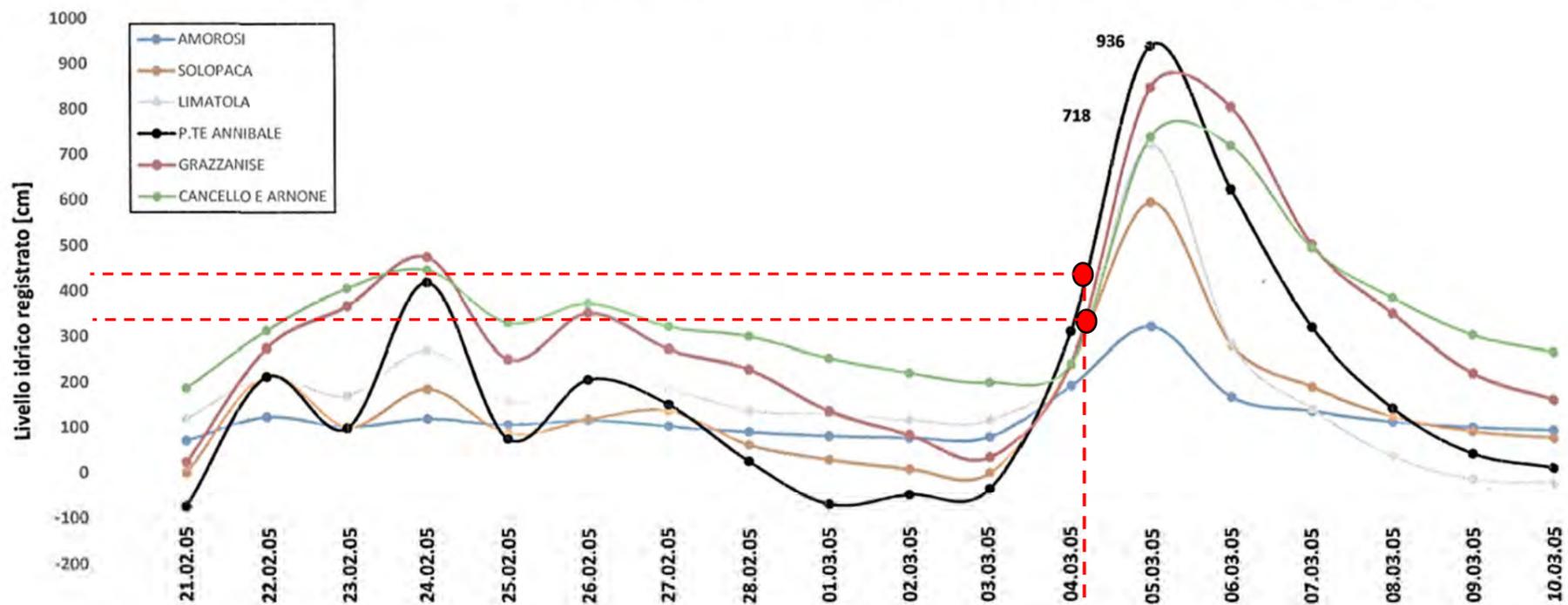
Fig. 10: cumulata a 3 ore di pioggia a Ponte 25 Archi

Ietogramma cumulato a 3 ore per il bacino del Fiume Alto Volturno a P.te 25 Archi  
 Elaborazione Rapporto d'Evento del Centro Funzionale Regione Molise



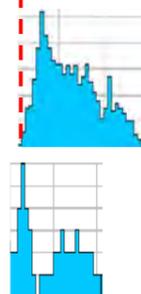
Ietogramma e livelli idrometrici di piena per il bacino del Fiume Calore Irpino a Solopaca  
 Elaborazione Rapporto d'Evento del Centro Funzionale Regione Campania

Stazione Idrometriche sul F. Volturno - Livelli idrici registrati alle ore 12.00, durante l'evento del marzo 2005



All'inizio dell'evento pluviometrico, in alveo si registravano:

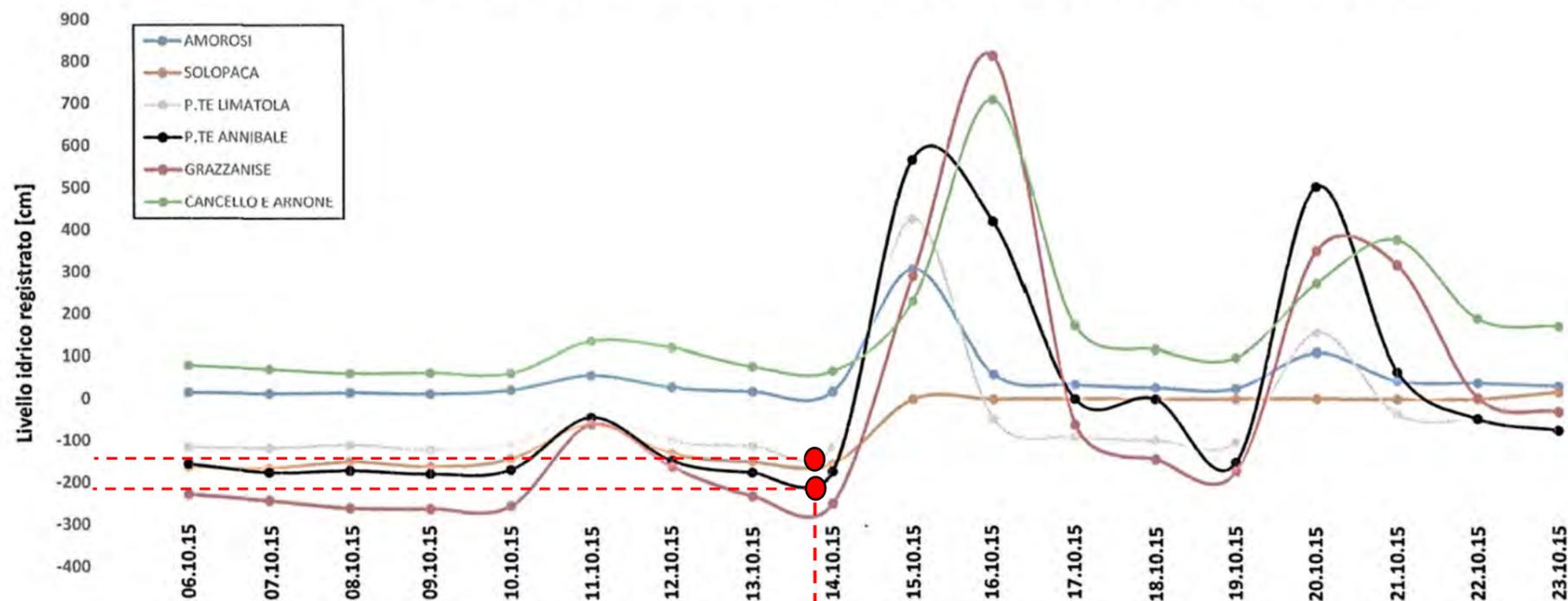
- Ponte Limatola: L = 3,20 m; Y = 29,2 m s.l.m. → Q = 1.200 m<sup>3</sup>/s
- Ponte Annibale: L = 4,30 m; Y = 22,0 m s.l.m. → Q = 1.050 m<sup>3</sup>/s



Bacino F. Calore Irpino

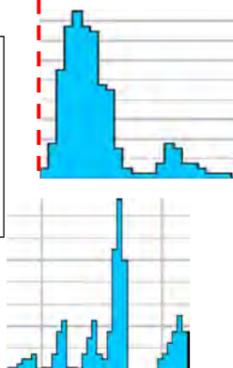
Bacino F. Alto Volturno

Stazione Idrometriche sul F. Volturno - Livelli idrici registrati alle ore 12.00, durante l'evento dell'ottobre 2015

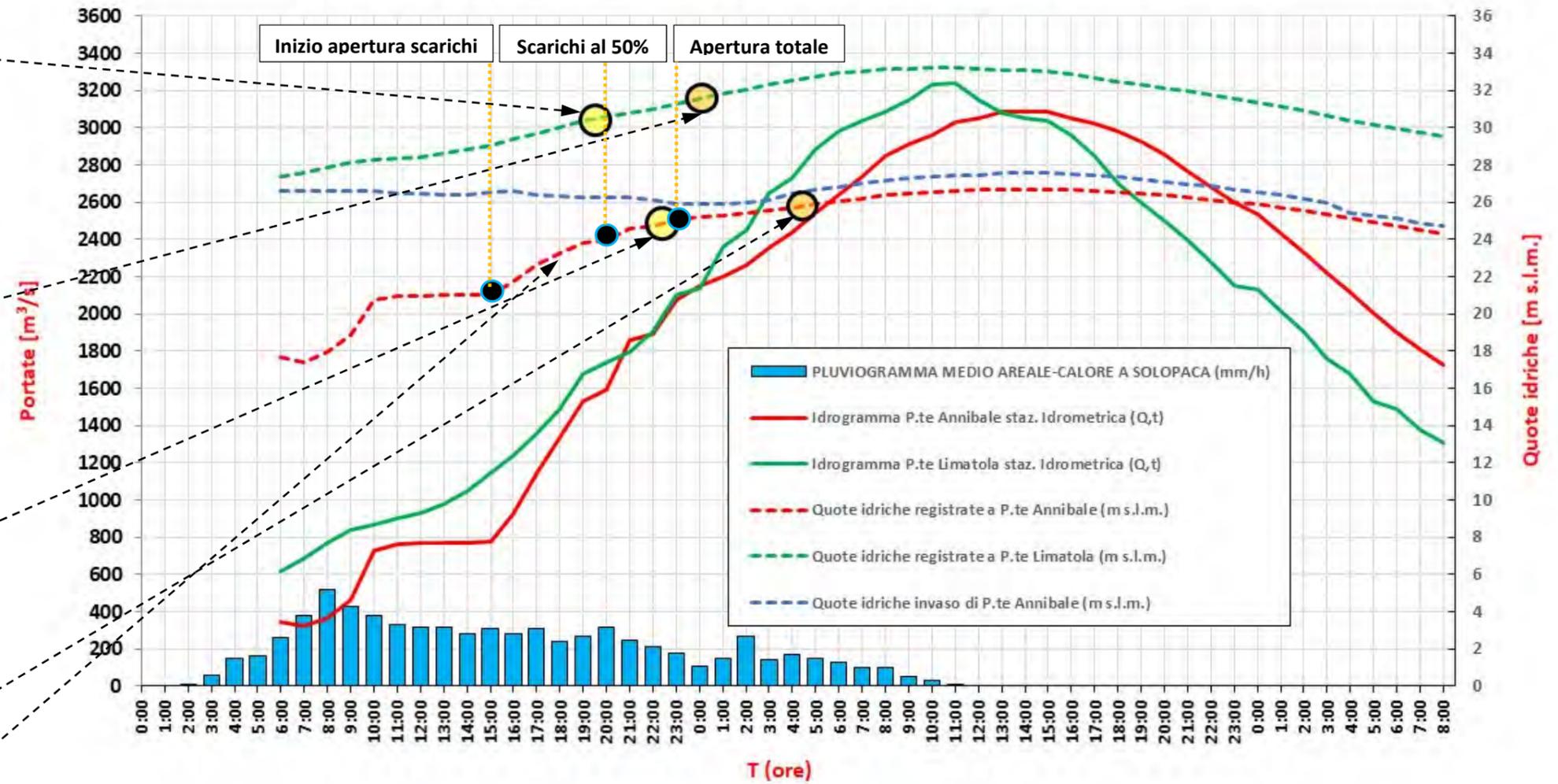


All'inizio dell'evento pluviometrico, in alveo si registravano:

- Ponte Limatola: L = -1,50 m; Y = 24,5 m s.l.m. → Q = 105 m<sup>3</sup>/s
- Ponte Annibale: L = - 2,10 m; Y = 15,6 m s.l.m. → Q = 100 m<sup>3</sup>/s



## Evento marzo 2005 - Idrogrammi di piena ricostruiti e quote idriche registrate



**Idrometro Ponte Limatola**  
**LIVELLO SOGLIA DI PIENA ORDINARIA**  
 -18 ore dopo l'inizio dell'evento piovoso;  
 -a 4 ore e mezza dal livello "soglia di piena straordinaria";  
 -a 15 ore dal picco di piena.

**Idrometro Ponte Limatola**  
**LIVELLO SOGLIA DI PIENA STRAORDINARIA**  
 -22 ore dall'inizio dell'evento piovoso;  
 -a 10 ore dal picco di piena ( $\approx 3.250 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

**Idrometro Ponte Annibale**  
**LIVELLO SOGLIA DI PIENA ORDINARIA**  
 -20 ore dopo l'inizio dell'evento piovoso;  
 -a 6 ore e mezza dal livello "soglia di piena straordinaria";  
 -a 15 ore dal picco di piena.

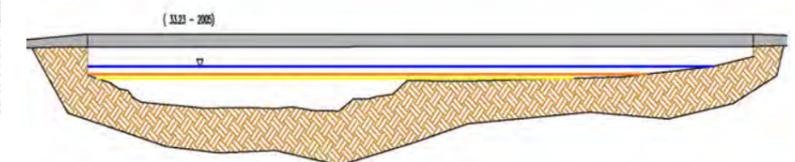
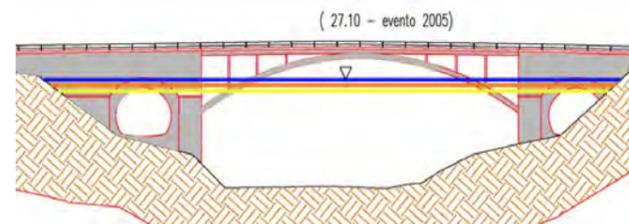
**Idrometro Ponte Annibale**  
**LIVELLO SOGLIA DI PIENA STRAORDINARIA**  
 -28 ore dall'inizio dell'evento piovoso;  
 -a 9 ore dal picco di piena ( $\approx 3.080 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

**ALLE ORE 18:00 (scarichi aperti al 30%)**

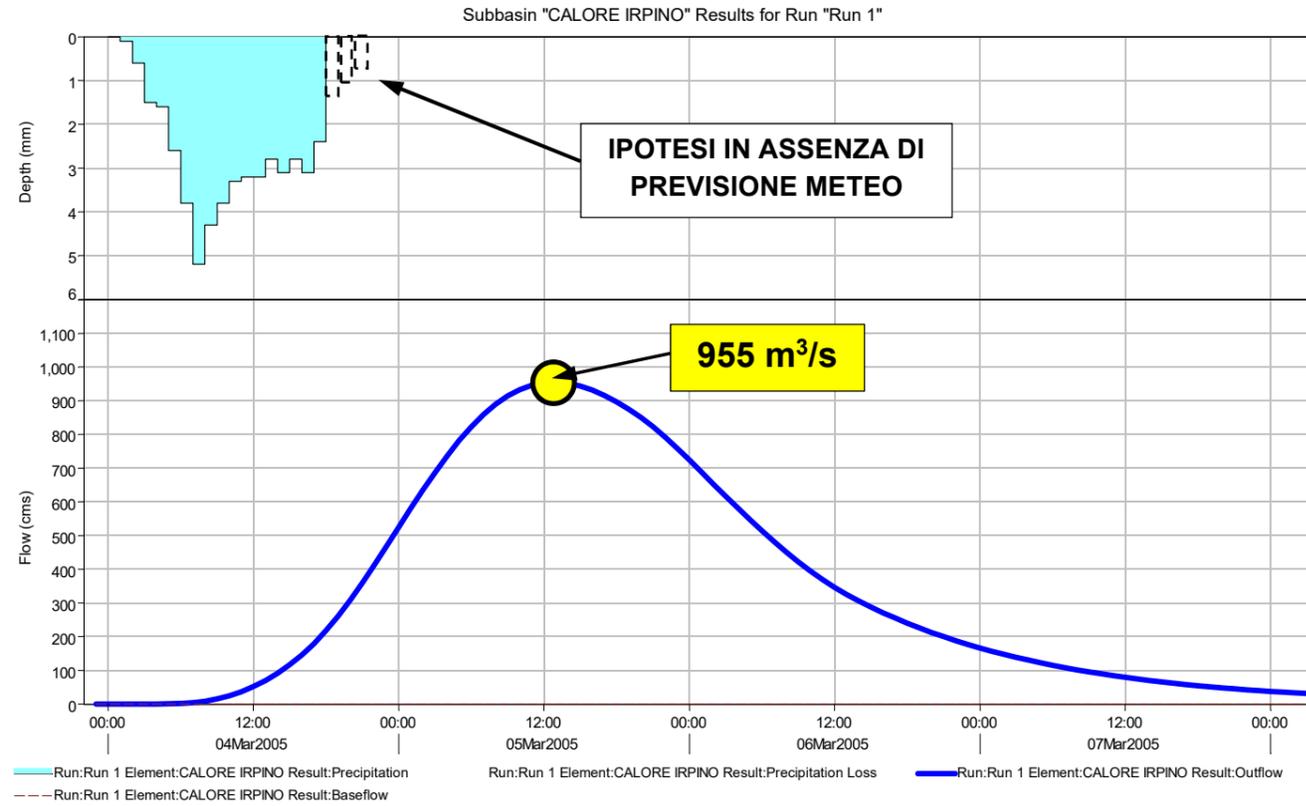
**Idrometro Solopaca = 515 cm**  
 Piena Ordinaria = 550 cm  
 Piena Straordinaria = 650 cm

**Idrometro Amorosi = 252 cm**  
 Piena Ordinaria = 300 cm  
 Piena Straordinaria = 350 cm

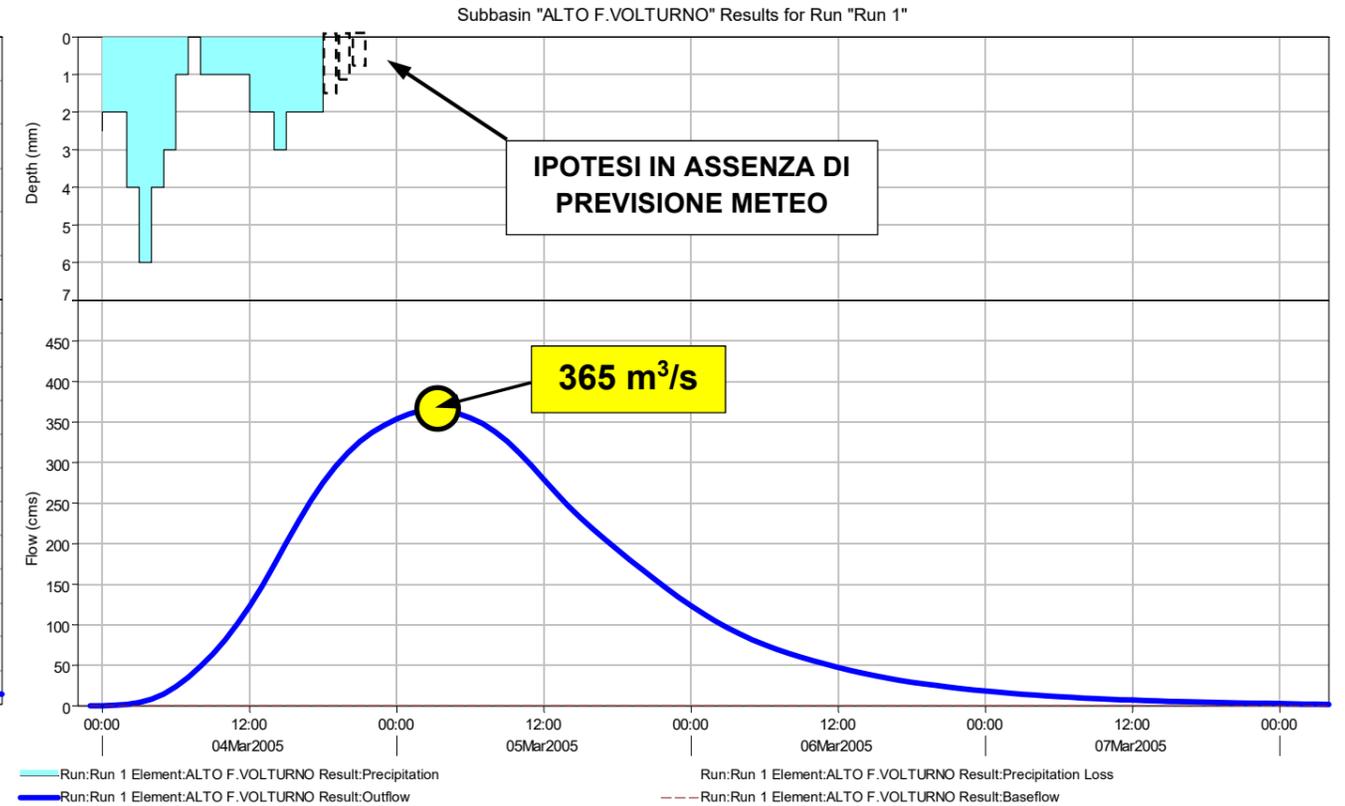
Soglie di piena - Centro Funzionale di Protezione Civile	ORDINARIA		STRAORDINARIA	
	[h]	[Q]	[h]	[Q]
	[cm]	[m <sup>3</sup> /s]	[cm]	[m <sup>3</sup> /s]
Idrometro Ponte Annibale	750	1940	850	2480
Idrometro Ponte Limatola	450	1690	550	2140



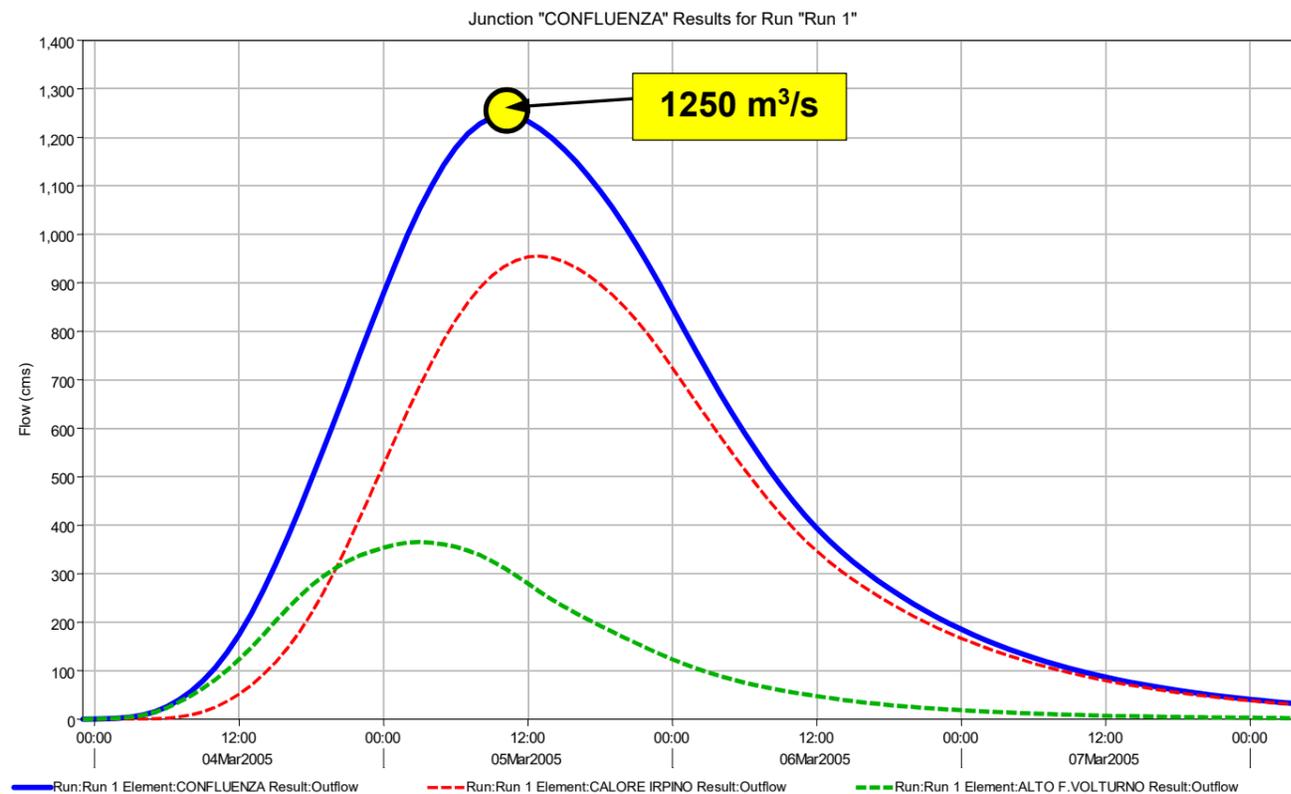
## IPOTESI DI PREVISIONE EVENTO ALLE 18 – CALORE IRPINO A SOLOPACA



## IPOTESI DI PREVISIONE EVENTO ALLE 18 – ALTO VOLTURNO AD AMOROSI

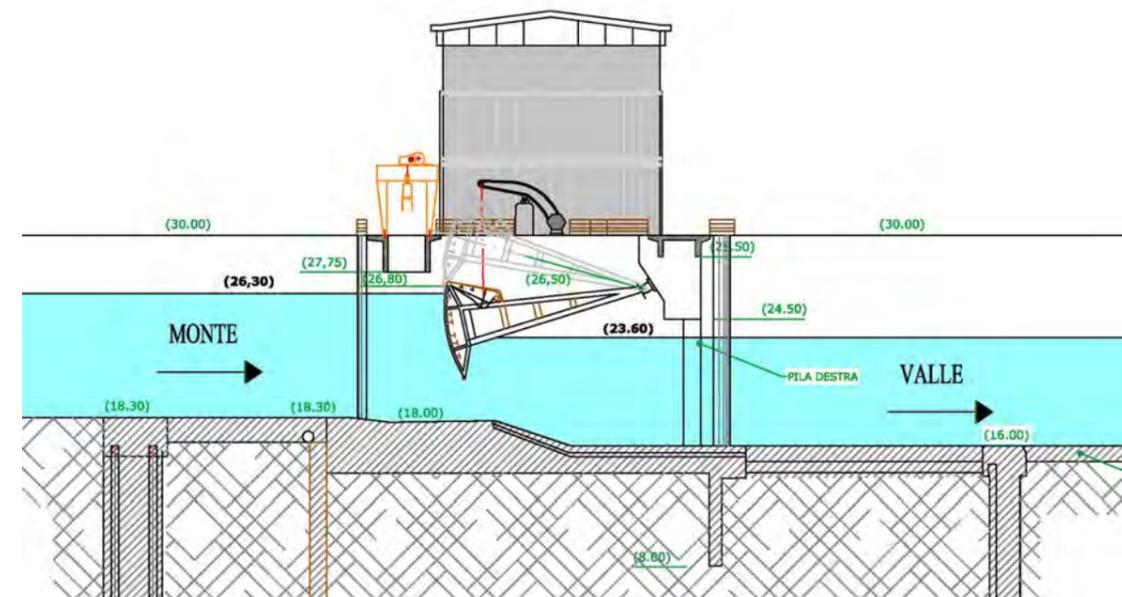


## IPOTESI DI PREVISIONE EVENTO ALLE 18 – SEZIONE DI CONFLUENZA



## SITUAZIONE DELLO SBARRAMENTO ALLE ORE 18:00

ALLE ORE 18:00, A PONTE LIMATOLA TRANSITAVANO 1500 m<sup>3</sup>/s ED I LIVELLI IDROMETRICI ERANO IN ASCESA, CON CONSEGUENTE POSSIBILE PREVISIONE, DI ARRIVO E TRANSITO A PONTE ANNIBALE, DI UNA PORTATA DI OLTRE 2800 m<sup>3</sup>/s, RISPETTO AI 3100 m<sup>3</sup>/s CHE SI SONO POI VERIFICATI 19 ORE DOPO.



**Idrometro Ponte Limatola**

**LIVELLO SOGLIA DI PIENA ORDINARIA**

- 18 ore dopo l'inizio dell'evento piovoso;
- a 2 ore e mezza dal livello "soglia di piena straordinaria";
- a 8 ore dal picco di piena.

**Idrometro Ponte Limatola**

**LIVELLO SOGLIA DI PIENA STRAORDINARIA**

- 20 ore dall'inizio dell'evento piovoso;
- a 6 ore dal picco di piena ( $\approx 3.300 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

**Idrometro Ponte Annibale**

**LIVELLO SOGLIA DI PIENA ORDINARIA**

- 20 ore dopo l'inizio dell'evento piovoso;
- a 4 ore dal livello "soglia di piena straordinaria";
- a 9 ore dal picco di piena.

**Idrometro Ponte Annibale**

**LIVELLO SOGLIA DI PIENA STRAORDINARIA**

- 24 ore dall'inizio dell'evento piovoso;
- a 5 ore dal picco di piena ( $\approx 3.100 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

**ALLE ORE 8:00**

**Idrometro Solopaca = 290 cm**

**Piena Ordinaria = 550 cm**

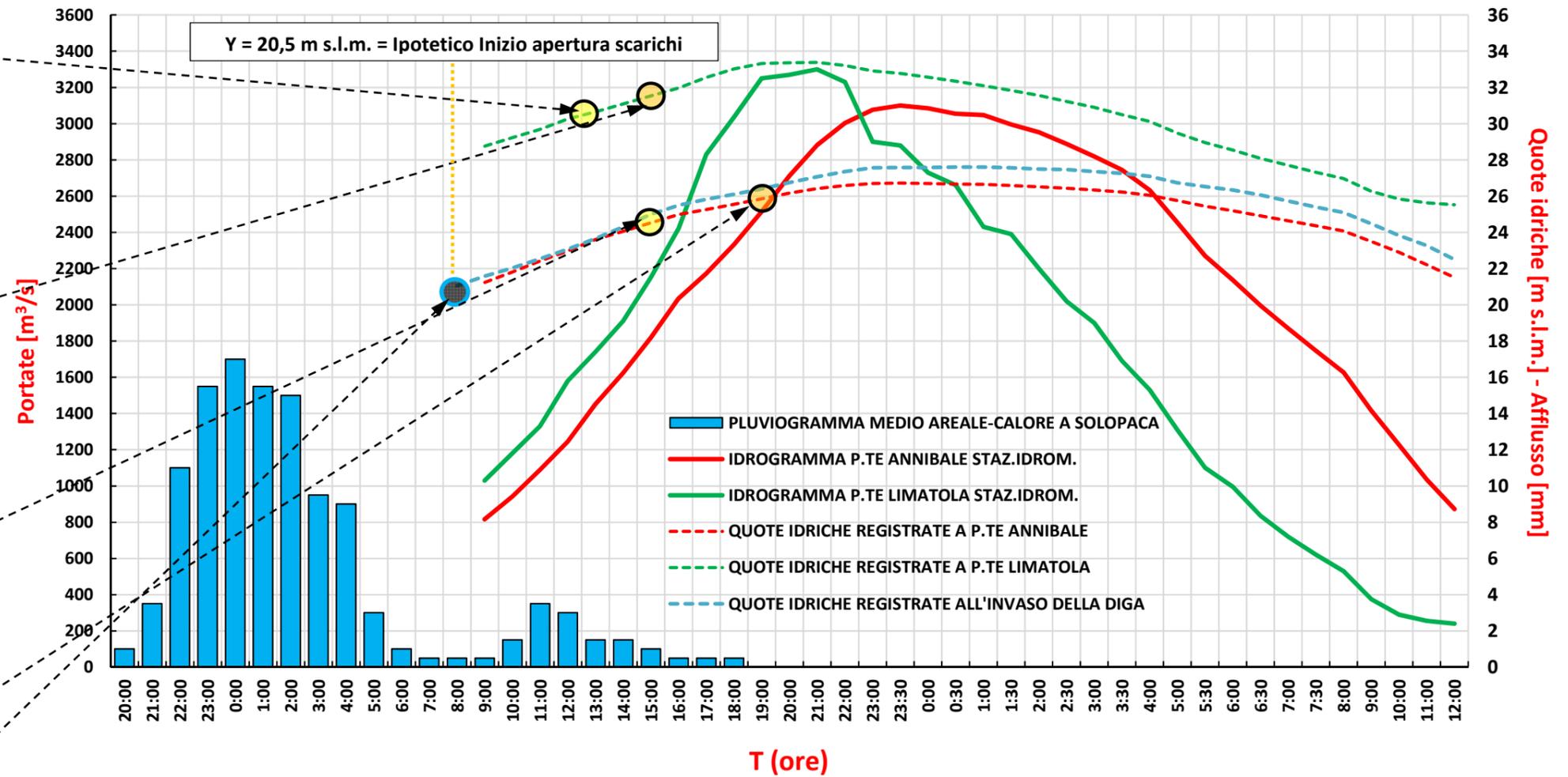
**Piena Straordinaria = 650 cm**

**Idrometro Amorosi = -125 cm**

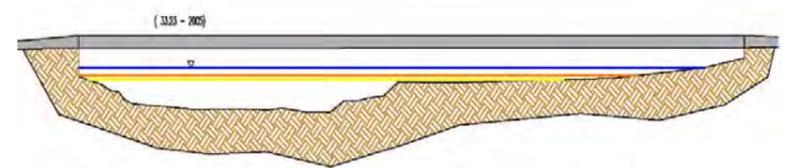
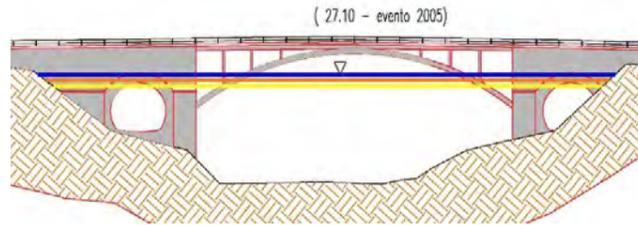
**Piena Ordinaria = 300 cm**

**Piena Straordinaria = 350 cm**

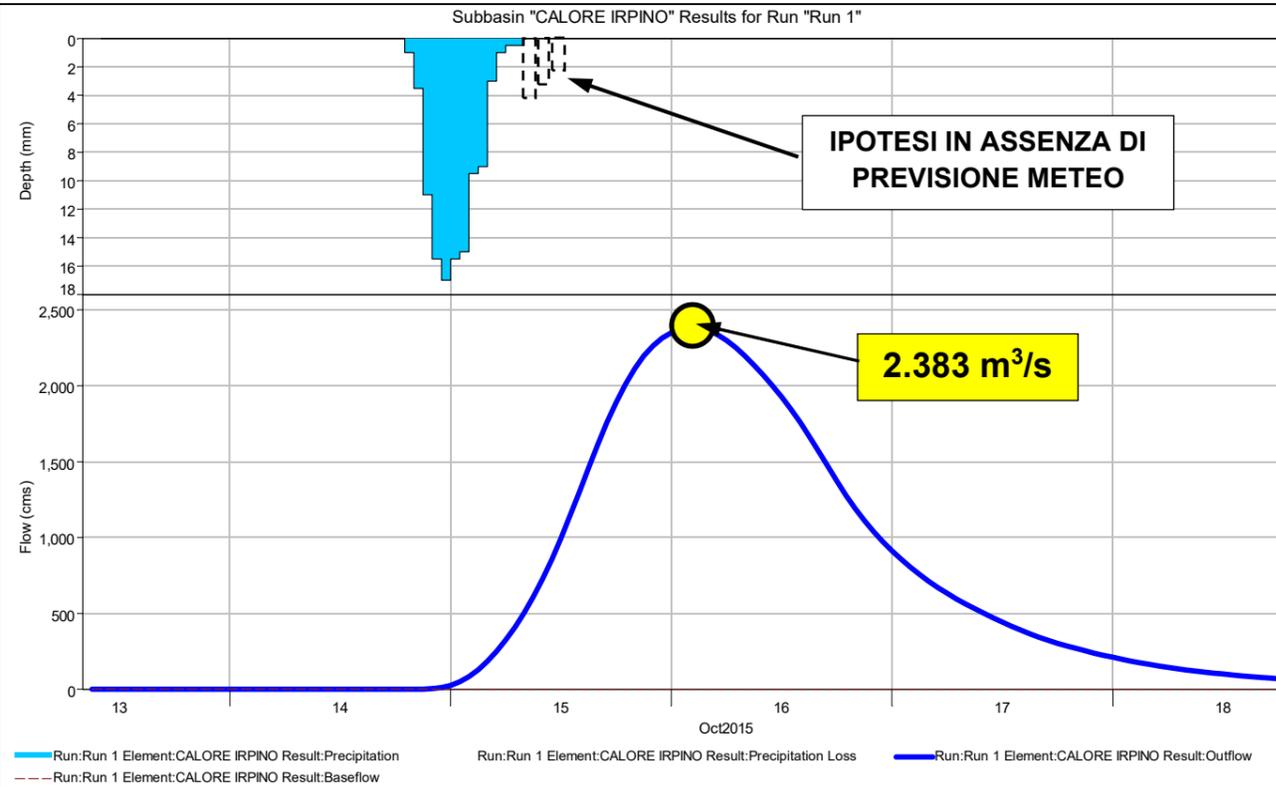
**Evento ottobre 2015 - Pluviogramma orario, idrogrammi di piena ricostruiti e quote idriche registrate**



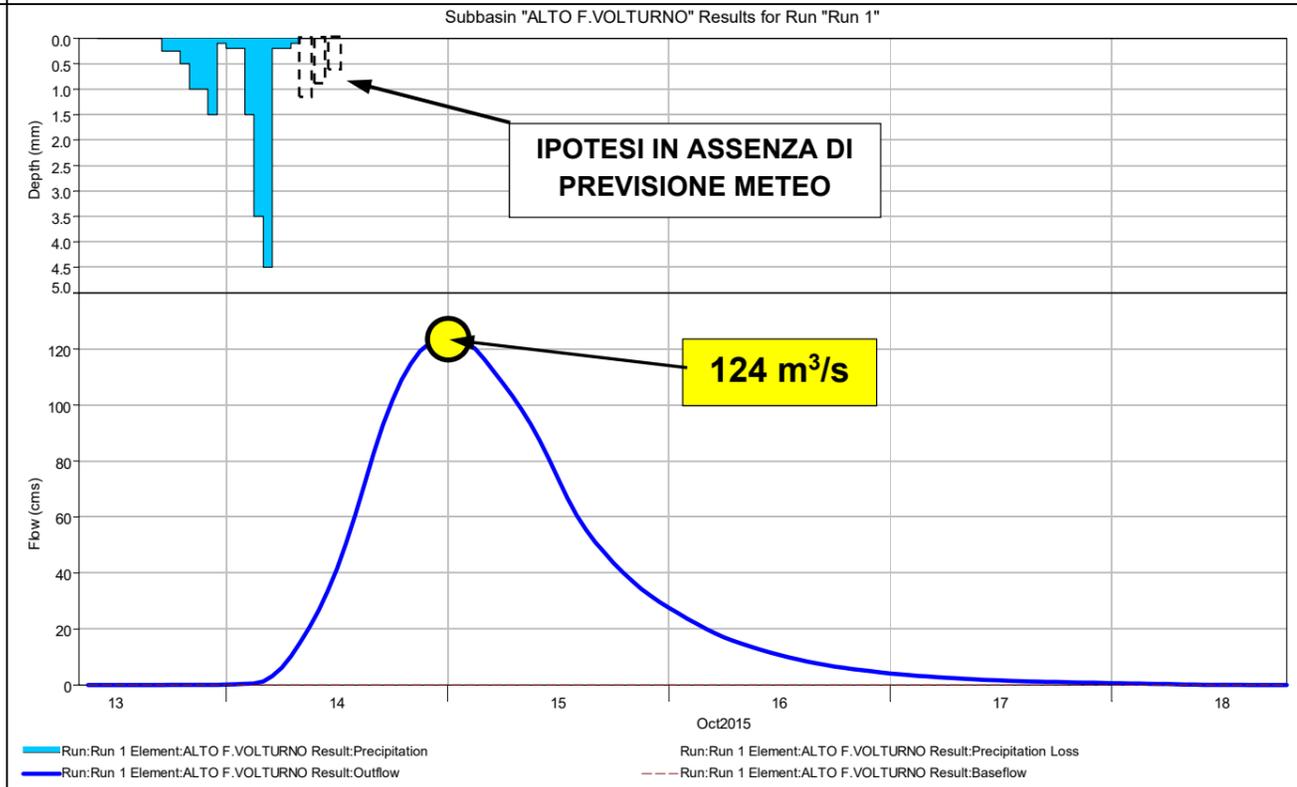
Soglie di piena - Centro Funzionale di Protezione Civile	ORDINARIA		STRAORDINARIA	
	[h]	[Q]	[h]	[Q]
	[cm]	[m³/s]	[cm]	[m³/s]
Idrometro Ponte Annibale	750	1940	850	2480
Idrometro Ponte Limatola	450	1690	550	2140



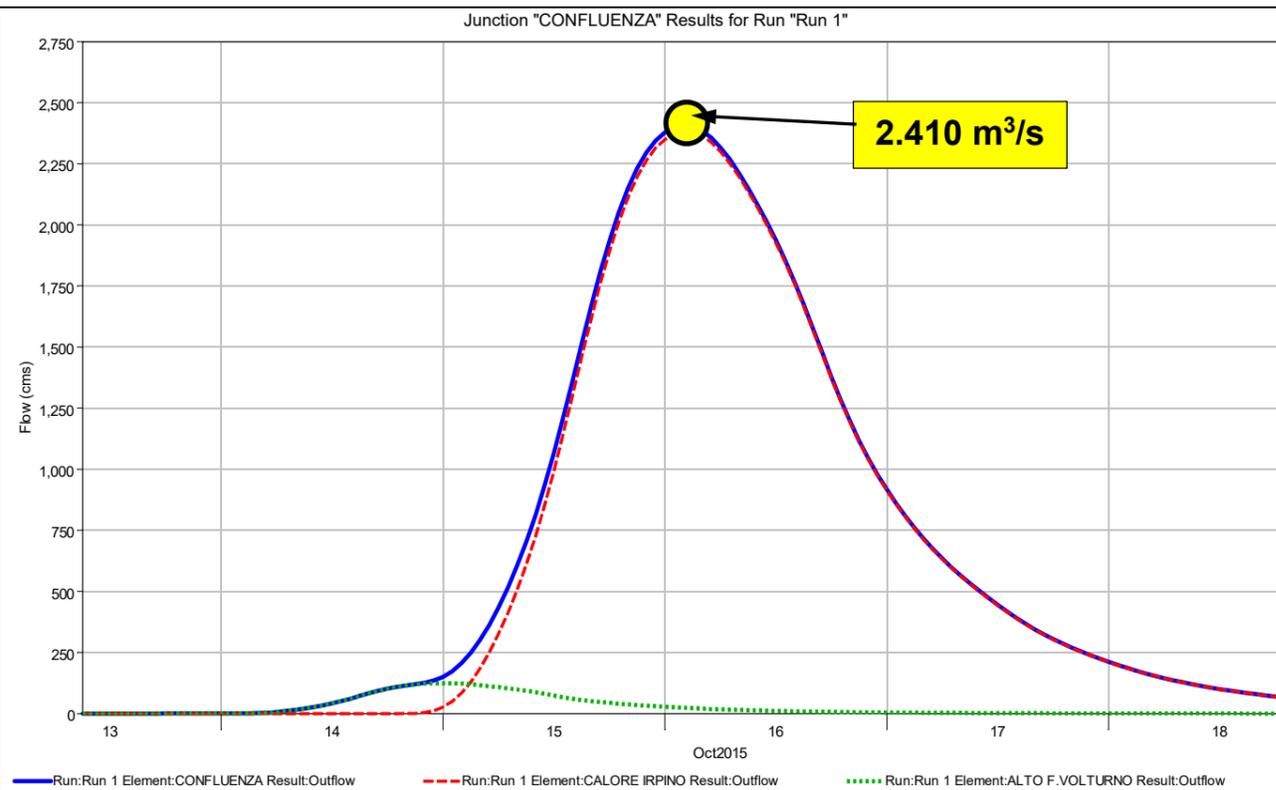
### IPOSTESI DI PREVISIONE EVENTO ALLE 8 – CALORE IRPINO A SOLOPACA



### IPOSTESI DI PREVISIONE EVENTO ALLE 8 – ALTO VOLTURNO AD AMOROSI

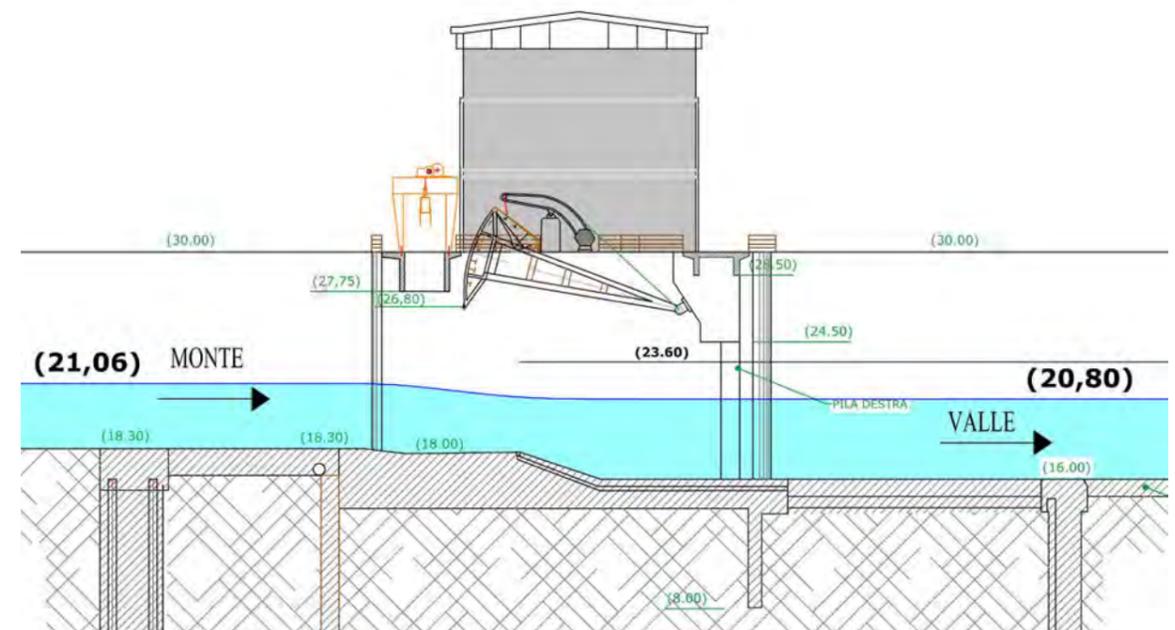


### IPOSTESI DI PREVISIONE EVENTO ALLE 8 – SEZIONE DI CONFLUENZA



### SITUAZIONE DELLO SBARRAMENTO ALLE ORE 8:00

ALLE ORE 8:00, A PONTE LIMATOLA TRANSITAVANO 1030 m<sup>3</sup>/s ED I LIVELLI IDROMETRICI ERANO IN ASCESA, CON CONSEGUENTE POSSIBILE **PREVISIONE**, DI ARRIVO E TRANSITO A PONTE ANNIBALE, DI UNA PORTATA **DI OLTRE 2400 m<sup>3</sup>/s**, VERIFICATISI POI 10 ORE DOPO, RISPETTO AI 3100 m<sup>3</sup>/s CHE SI SONO VERIFICATI 16 ORE DOPO.

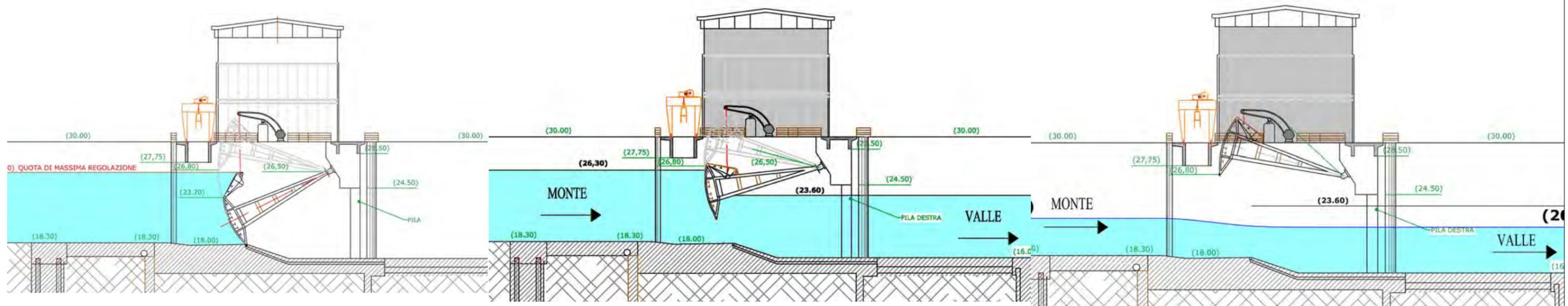




**RISCHIO IDRAULICO DIGA:**

saremmo in grado di fornire utili e più precisi elementi numerici circa i valori:

- 1) TEMPI DI PREAVVISO sull'avanzamento della piena, per l'attivazione delle soglie di allerta;
- 2) dei LIVELLI DI APERTURA DELLE PARATOIE da attivare E della VELOCITA' DELLE MANOVRE, per provare a diminuire i livelli idrici a monte



## RISCHIO IDRAULICO A VALLE DIGA:

saremmo in grado di fornire utili e più precisi elementi numerici circa i valori:

1) DEI TEMPI DI PREAVVISO sull'avanzamento della piena, per l'attivazione delle soglie di allerta e per le misure di Protezione Civile;

2)  $Q_{min}$ ; 3)  $Q_{A,max}$



### TEMPI DI CORRIVAZIONE (Per portate dell'ordine dei 2500 – 3000 m<sup>3</sup>/s)

	LIMATOLA	PONTE ANNIBALE	CAPUA	GRAZZANISE	CANCELLO E ARNONE
LIMATOLA	-	4	6	10	13
PONTE ANNIBALE	4	-	2	6	9
CAPUA	6	2	-	4	7
GRAZZANISE	10	6	4	-	4
CANCELLO E ARNONE	13	9	7	4	-