

## Il nubifragio del 17 settembre 2024 a Bacoli con associati fenomeni di alluvione lampo.

Nelle ore serali del 17 settembre 2024 l'area geografica dei Campi Flegrei, ma in particolare il Comune di Bacoli, è stata colpita da un intenso evento pluviometrico, con accumuli di estrema rilevanza. Le precipitazioni, in particolare per la violenza delle stesse, hanno generato fenomeni alluvionali ad insorgenza rapida ovunque la componente geomorfologica ne abbia favorito le dinamiche idrologiche.

### Situazione a scala europea

La distribuzione dei centri barici di azione vede la presenza di un vasto campo anticiclonico che interessa tutta l'Europa, con un asse che parte dalle Isole Azzorre e si porta sino agli Urali; i valori barici al suolo sono superiori ai 1030 hPa in un'ampia fascia che dall'Irlanda si estende sino all'estremo settore orientale dell'Europa, ove si superano i 1035 hPa. Sul bordo meridionale di questo campo anticiclonico scorre un flusso orientale che dal Mar Caspio si porta sino alla penisola iberica; più a Sud, sul Mediterraneo centrale, proprio sin corrispondenza della penisola italiana, è presente un vortice depressionario in quota, con valori del geopotenziale di circa 560 dam. A tale vortice in quota corrispondono marcate condizioni di instabilità atmosferica.

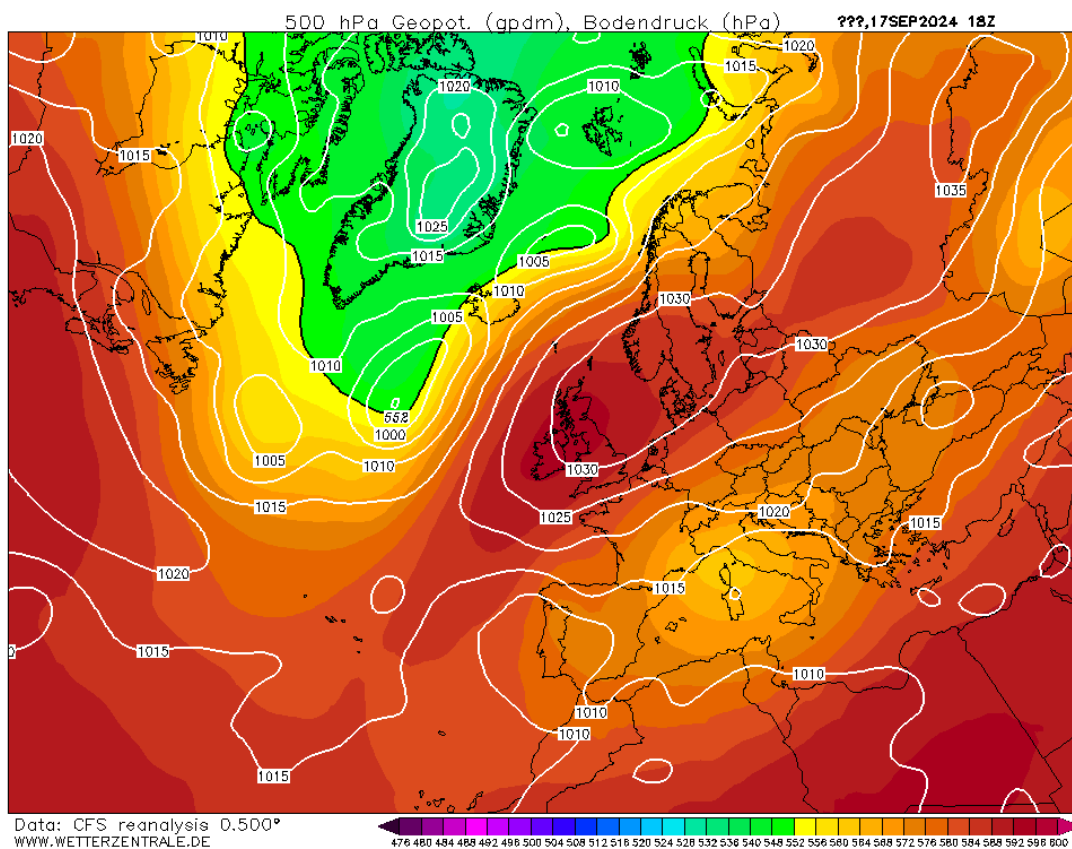


Figura 1. Mappa di reanalisi CFS – pressione al suolo e geopotenziale 500 hPa

## Evoluzione meteorologica

Nel pomeriggio del giorno 17/9 la Campania è stata interessata dal transito di una estesa area temporalesca, che ha abbandonato la provincia di Napoli intorno alle ore 17:00 ora locale, dando inizio ad una fase di ampia schiarita. Improvvisamente, intorno alle 20:00 ora locale, sull'area flegrea si innesca la formazione di una cella temporalesca di limitata estensione ma di grande intensità. Le scariche elettriche risultano frequenti e le precipitazioni di estrema intensità.

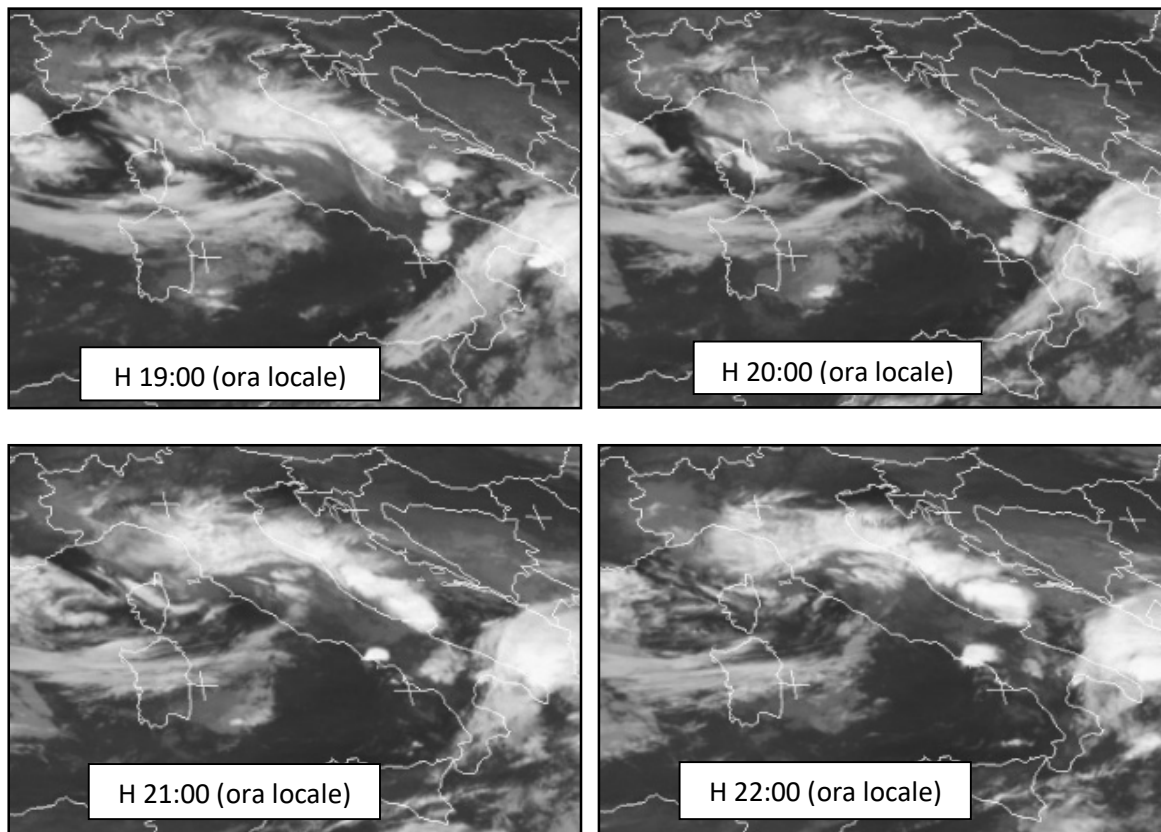
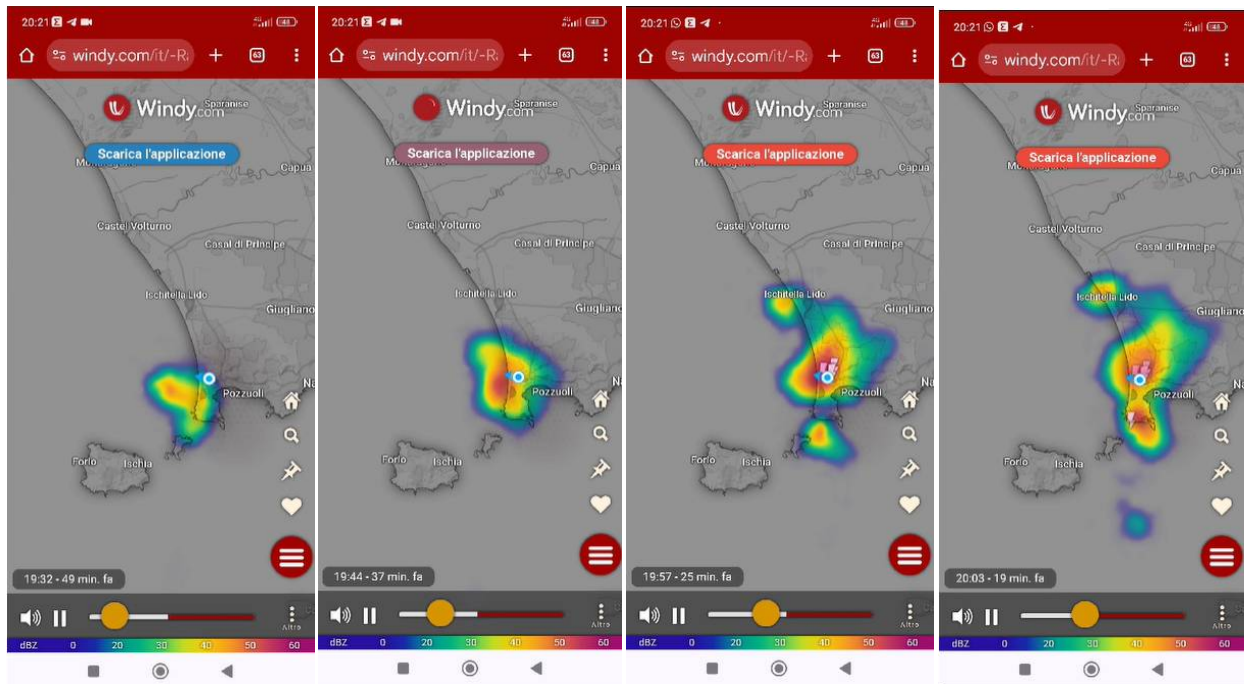


Figura 2. Sequenza di immagini satellitari IR, da H19:00 a ore H22:00.

La dinamica di sviluppo della cellula temporalesca risulta essere di tipo autorigenerante, con diverse nuove cellule in formazione ad E di Ischia e di Procida. Il cuore delle precipitazioni si mantiene in area flegrea, ma gradualmente le precipitazioni si estendono verso E, raggiungendo anche l'area del Comune di Napoli, ove le precipitazioni risultano quantitativamente inferiori, comprese tra i 5 e i 10 mm.

Le immagini radar relative ai primi 30 minuti di attività della cellula temporalesca, mostrano la fase di innesco, a Nord dell'Isola di Procida e ad Ovest di Cuma (ore 20:30 circa ora locale). Alle 20:45 circa la cellula si ingrandisce e si espande verso E, andando ad interessare l'area geografica dei Campi Flegrei. Alle 21:00 circa la prima cellula interessa direttamente la zona tra Pozzuoli e Licola e a S di essa, a E dell'Isola di Procida, si sta attivando una nuova cellula. Questa cella si concatena alla prima e nell'arco di 10 minuti diventano un unico sistema bicellulare; la cellula di più recente

formazione investe con violenza la zona di Bacoli-Baia, dove le immagini radar in falsi colori raggiungono il fondo scala in termini di intensità.



### Analisi dati pluviometrici

Procediamo adesso con una analisi mirata a definire il livello di eccezionalità del fenomeno temporalesco occorso in area flegrea.

Per analizzare e classificare gli eventi di precipitazione in termini di intensità e severità effettiva, utilizziamo le curve intensità-durata-frequenza di precipitazione (IDF). Gli eventi definiti utilizzando queste curve sono rappresentativi di un evento caratterizzato da un'intensità di precipitazione costante (mm/h) per tutta la durata dell'evento, pari al valore medio. Questa ipotesi può essere considerata valida solo per eventi di durata molto breve: negli eventi reali l'aumento della durata porta alla presenza di sottoperiodi con maggiore intensità di precipitazione: non è fisicamente possibile ipotizzare il verificarsi di un evento di precipitazione di intensità costante della durata di 1h. Non considerare questa variabilità introduce una criticità negli studi idrologici, dovuta alla discrepanza tra eventi di precipitazione reali e curve ad intensità costante. Utilizzando la formula che genera queste curve, e particolarizzandola su diverse durate e  $T_r$  ( $T_r$  = Tempo di ritorno = tempo medio che statisticamente si deve attendere prima che si ripresenti un fenomeno che presenta analoghe caratteristiche di intensità), tramite un debito coefficiente  $K_T$  ( $K_T$  = coefficiente di crescita = coefficiente che descrive come cresce il valore dell'accumulo pluviometrico, a parità di durata dell'evento, al crescere del Tempo di ritorno), è possibile valutare analiticamente i valori di pioggia (intensità e quantità) corrispondenti a durata e  $T_r$  specificati.

Tutto ciò è reso possibile da una analisi statistica effettuata estraendo dai dataset pluviometrici disponibili, tutti i valori massimi annuali.

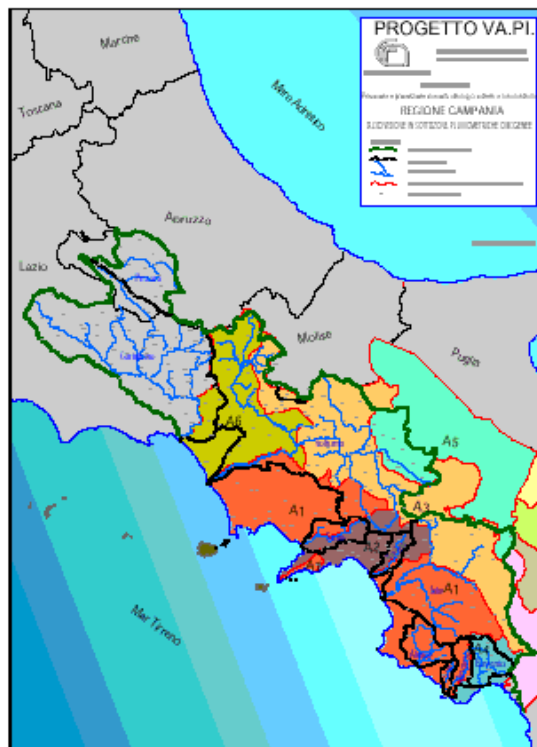
Di seguito mettiamo a confronto i valori pluviometrici dell'evento in questione con diverse famiglie di curve:

- 1) le curve normalmente utilizzate nella progettazione delle infrastrutture idrauliche di gestione delle acque meteoriche (curve messe a disposizione dall'Autorità di Bacino locale);
- 2) le curve valutate con approccio VAPI (VAPI = Valutazione delle Piene in Italia);
- 3) le curve ricavate dalla post-elaborazione del dataset relativo al solo pluviometro di Pozzuoli della Protezione Civile della Regione Campania (dataset a partire dal 2001).

La necessità di un confronto con famiglie di curve di diversa origine trova il suo fondamento nella constatazione che tali curve sono generate dall'analisi di dataset provenienti da diversi raggruppamenti di pluviometri.

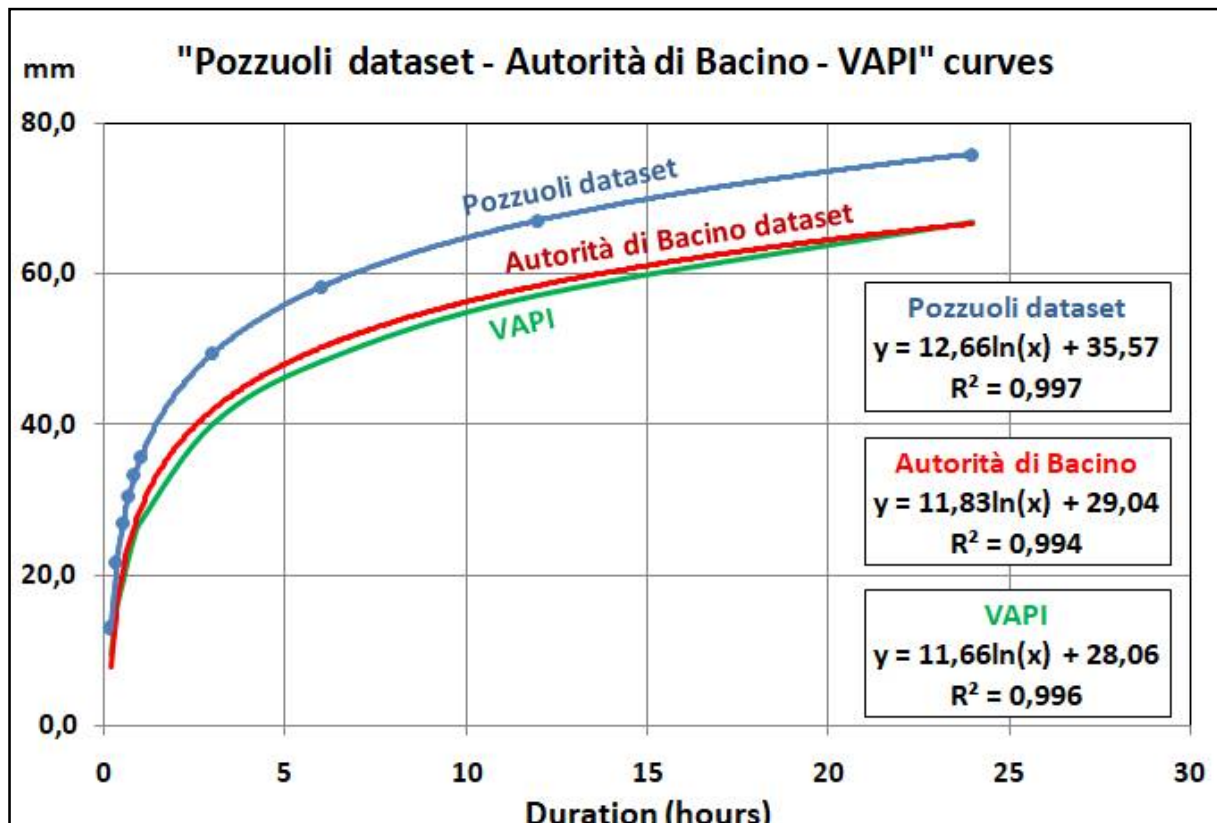
Le curve estratte dal PSAI (Piano Stralcio Assetto Idrogeologico) dell'Autorità di Bacino si basano sull'analisi statistica dei dati di pioggia rilevati da 10 pluviometri (Licola, Fusaro, Pozzuoli, Camaldoli, S. Rocco di Capodimonte, Servizio Idrografico, Osservatorio di Capodimonte, Istituto di Fisica terrestre, Aeroporto di Capodichino e Ponticelli).

Le curve VAPI si riferiscono ai dati rilevati da pluviometri disseminati su comparti territoriali piuttosto vasti e risultano pertanto poco "sito-specifiche". La zona di Napoli ricade nella cosiddetta sottozona pluviometrica omogenea A1 (l'aggettivo omogenea non è attribuito da me ma da coloro che hanno portato avanti il Progetto VAPI) ma, come risulta evidente, in particolare a coloro che monitorano la pluviometria con continuità (NOI di campanialive.it), di omogeneo c'è ben poco.



Tale disomogeneità dipende da fattori strutturali quali, in primis, distanza dal mare e/o condizionamento orografico al contorno. Le curve maggiormente significative per poter effettuare una valutazione di eccezionalità sono, pertanto, quelle generate attraverso l'analisi dei dati rilevati dal pluviometro di Pozzuoli.

Nel diagramma di seguito sono riportate le curve base, valutate secondo le varie teorie di analisi statistica e di dataset utilizzati.



Per evidenziare meglio queste differenze, di seguito sono riportati i dati numerici estratti dalle tre diverse curve:

- dati reali di pioggia ricavati dall'analisi dei valori estremi;
- dalla curva ottenuta come interpolazione dei dati di pioggia reale di Pozzuoli (caso B);
- dalla curva resa disponibile dall'Autorità di Bacino (caso C);
- curva desunta tramite procedura VAPI (caso D).

Di seguito, riportiamo i dati in forma numerica (Tabella 3), evidenziando anche le differenze che emergono quando si usa una o l'altra curva.

**Tabella: dati numerici di precipitazione valutati attraverso quattro diverse curve IDF (dati sub-orari e sub-giornalieri)**

A	Pozzuoli real data
B	Pozzuoli Interpolation curve
C	"Autorità di Bacino" curve
D	"VAPI" curve

		0,167	0,333	0,5	0,667	0,833	1	3	6	12	24
A	mm	14,6	20,6	25,3	30,1	33,6	36,3	50,2	57,5	66,0	77,1
B	mm	12,9	21,6	26,8	30,4	33,3	35,6	49,5	58,3	67,0	75,8
C	mm	10,4	16,5	20,4	23,5	25,9	27,9	40,5	49,1	58,5	69,1
D	mm	9,5	15,4	19,5	22,6	25,1	27,2	40,0	48,3	57,2	66,9

B - C	mm	2,51	5,15	6,39	6,94	7,36	7,67	8,98	9,15	8,53	6,70
	%	19,5%	23,8%	23,9%	22,8%	22,1%	21,6%	18,1%	15,7%	12,7%	8,8%

B - D	mm	3,36	6,25	7,29	7,82	8,13	8,37	9,48	9,93	9,86	8,94
	%	26,0%	28,9%	27,2%	25,7%	24,4%	23,5%	19,2%	17,0%	14,7%	11,8%

È evidente che il pluviometro di Pozzuoli è esposto a un grado complessivamente superiore di quantità di pioggia, e questa caratteristica è da riferirsi a fattori locali di condizionamento della pluviometria.

#### Dati pluviometrici evento BACOLI

Nella tabella di seguito viene riportata la sequenza dei valori di accumulo a cadenza di 5 minuti.

Orario	parziali	progressivi
20:09	0,0	0
20:14	6,8	6,8
20:19	3,1	9,9
20:24	1,0	10,9
20:29	2,0	12,9
20:34	9,9	22,8
20:39	6,1	26,9
20:44	7,4	34,3
20:49	12,7	47,0
20:54	<b>17,8</b>	64,8
20:59	15,0	79,8
21:04	15,5	95,3
21:09	10,9	106,2
21:14	10,9	117,1
21:19	3,8	120,9
21:24	0,3	121,2
21:29	0,5	121,7
21:34	1,0	122,7
21:39	0,2	122,9
21:44	0,0	122,9

Nelle tabelle successive, i valori in **blu** corrispondono, per ciascuna durata (corrispondente a 10 minuti e a multipli di 10 minuti), al massimo valore di accumulo che si è registrato nel corso dell'evento. I valori in **verde** corrispondono al valore base desunto dalle curve, al quale vengono poi applicati i coefficienti di crescita KT relativi a ciascun tempo di ritorno Tr. I valori relativi all'evento vengono successivamente posti a confronto con i valori di accumulo pluviometrico per ciascuna durata e per i vari tempi di ritorno, ottenendo il quadro riassuntivo dal quale emerge la cassazione dell'evento in termini di tempo di ritorno..

		<b>Curva Interpolatrice DATI POZZUOLI</b>					
		<b>10 min</b>	<b>20 min</b>	<b>30 min</b>	<b>40 min</b>	<b>50 min</b>	<b>60 min</b>
		<b>32,8</b>	<b>61,0</b>	<b>82,8</b>	<b>96,3</b>	<b>110,0</b>	<b>113,0</b>
TR	KT	<b>12,9</b>	<b>21,6</b>	<b>26,8</b>	<b>30,4</b>	<b>33,3</b>	<b>35,6</b>
<b>5</b>	<b>1,36</b>	17,6	29,4	23,7	27,2	30,0	32,4
<b>10</b>	<b>1,61</b>	20,8	34,9	28,2	32,4	35,7	38,5
<b>20</b>	<b>1,87</b>	24,1	40,5	33,5	38,5	42,5	45,8
<b>50</b>	<b>2,21</b>	28,5	47,8	40,0	46,0	50,7	54,7
<b>100</b>	<b>2,47</b>	31,9	53,5	48,2	55,4	61,1	65,8
<b>300</b>	<b>2,87</b>	37,1	62,1	59,2	68,0	75,1	80,9
<b>500</b>	<b>3,06</b>	39,5	66,2	65,7	75,5	83,4	89,8
<b>1000</b>	<b>3,32</b>	42,9	71,9	88,8	100,9	110,3	117,9

		<b>Curva Autorità di Bacino</b>					
		<b>10 min</b>	<b>20 min</b>	<b>30 min</b>	<b>40 min</b>	<b>50 min</b>	<b>60 min</b>
		<b>32,8</b>	<b>61,0</b>	<b>82,8</b>	<b>96,3</b>	<b>110,0</b>	<b>113,0</b>
TR	KT	<b>10,4</b>	<b>16,5</b>	<b>20,4</b>	<b>23,5</b>	<b>25,9</b>	<b>27,9</b>
<b>5</b>	<b>1,16</b>	12,1	19,1	23,7	27,3	30,0	32,4
<b>10</b>	<b>1,38</b>	14,4	22,8	28,2	32,4	35,7	38,5
<b>20</b>	<b>1,64</b>	17,1	27,1	33,5	38,5	42,5	45,8
<b>50</b>	<b>1,96</b>	20,4	32,3	40,0	46,1	50,8	54,7
<b>100</b>	<b>2,36</b>	24,5	38,9	48,1	55,5	61,1	65,8
<b>300</b>	<b>2,90</b>	30,2	47,9	59,2	68,2	75,1	80,9
<b>500</b>	<b>3,22</b>	33,5	53,1	65,7	75,7	83,4	89,8
<b>1000</b>	<b>3,38</b>	35,2	55,8	69,0	79,4	87,5	94,3

		Curva VAPI					
		10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min
		32,8	61,0	82,8	96,3	110,0	113,0
TR	KT	9,5	15,4	19,5	22,6	25,1	27,2
5	1,16	11,1	17,9	22,6	26,2	34,2	37,0
10	1,38	13,2	21,2	26,9	31,2	40,5	43,8
20	1,64	15,7	25,3	32,0	37,1	47,0	50,9
50	1,96	18,7	30,2	38,2	44,4	55,5	60,1
100	2,36	22,5	36,3	46,0	53,4	62,1	67,2
300	2,90	27,7	44,7	56,6	65,6	72,1	78,1
500	3,22	30,7	49,6	62,8	72,9	76,9	83,2
1000	3,38	32,3	52,0	65,9	76,5	83,4	90,3

Si nota quanto segue:

**Caso a) analisi di eccezionalità del nubifragio per confronto con i dati statistici di POZZUOLI:**

- durata 10 minuti:  $100 < Tr < 300$  anni
- durata 20 minuti:  $100 < Tr < 300$  anni
- durata 30 minuti:  $500 < Tr < 1000$  anni
- durata 40 minuti:  $500 < Tr < 1000$  anni
- durata 50 minuti:  $Tr = 1000$  anni
- durata 60 minuti:  $500 < Tr < 1000$  anni (Tr prossimo a 1000 anni)

**Caso b) analisi di eccezionalità del nubifragio per confronto con i dati statistici PSAI-AdB:**

- durata 10 minuti:  $300 < Tr < 500$  anni
- durata 20 minuti:  $Tr > 1000$  anni
- durata 30 minuti:  $Tr > 1000$  anni
- durata 40 minuti:  $Tr > 1000$  anni
- durata 50 minuti:  $Tr > 1000$  anni
- durata 60 minuti:  $Tr > 1000$  anni

**Caso c) analisi di eccezionalità del nubifragio per confronto con i dati statistici VAPI:**

- durata 10 minuti:  $Tr > 1000$  anni
- durata 20 minuti:  $Tr > 1000$  anni
- durata 30 minuti:  $Tr > 1000$  anni
- durata 40 minuti:  $Tr > 1000$  anni
- durata 50 minuti:  $Tr > 1000$  anni
- durata 60 minuti:  $Tr > 1000$  anni

**Conclusioni**

L'evento che ha colpito l'area di Bacoli la sera del 17 settembre 2024 è un evento indubbiamente di eccezionale rilevanza quantitativa. L'analisi statistica effettuata mostra che esso è risultato



superiore a quello del 15 settembre 2001 per tutte le durate inferiori ai 60 minuti. L'eccezionalità del nubifragio del 15 settembre 2001, nel suo insieme, fu dovuta alla circostanza che in quella occasione si osservarono due scrosci di circa 40 minuti ciascuno, separati da una pausa nelle precipitazioni di circa 1h, ma fu solo con l'intervento del secondo scroscio che si concretizzò l'eccezionalità estrema dell'evento nel suo insieme.