

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. COORDINAMENTO NO CAPTIVE E INGEGNERIA DI SISTEMA

PROGETTO DEFINITIVO

VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI - OLBIA

VARIANTE DI BONORVA-TORRALBA

RELAZIONE IDROLOGICA

SCALA:

--

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV.

RR0H 04 D 13 RI ID0001 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione Esecutiva	F.BIANCHI	15 MARZO 2018	M.VILLANI	15 MARZO 2018	T.PAOLETTI	15 MARZO 2018	L.BERARDI	15 MARZO 2018



File: RR0H04D13RIID0001001A.doc

n. Elab.:

255

## Sommario

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. INQUADRAMENTO GENERALE DEL PROGETTO FERROVIARIO .....</b>	<b>3</b>
<b>3. IDROLOGIA .....</b>	<b>5</b>
3.1 BACINI IDROGRAFICI .....	5
3.2 PLUVIOMETRIA .....	7
3.3 REGIONALIZZAZIONE DELLE PIOGGE-METODOLOGIA VAPI .....	8
<b>4. RISULTATI DELLO STUDIO IDROLOGICO .....</b>	<b>13</b>
4.1 CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA PER TEMPI DI PIOGGIA INFERIORI ALL'ORA .....	14
4.2 CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA PER TEMPI DI PIOGGIA SUPERIORI ALL'ORA .....	16

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI -OLBIA</b> <b>VARIANTE DI BONORVA-TORRALBA</b>					
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA RR0H	LOTTO 04	CODIFICA D13 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

## 1. PREMESSA

La presente relazione riassume i risultati delle indagini sviluppate, le metodologie applicate ed i risultati dello studio idrologico dei bacini idrografici principali e secondari interferenti con il tracciato della linea ferroviaria nell'ambito del progetto definitivo di velocizzazione della linea S.Gavino-Sassari-Olbia, variante di Bonorva-Torralba (Lotto 4).

## 2. INQUADRAMENTO GENERALE DEL PROGETTO FERROVIARIO

L'intervento oggetto di studio si colloca nella Sardegna nord-occidentale in corrispondenza del tracciato ferroviario della linea San Gavino – Sassari – Olbia.

La tratta di progetto corrispondente alla variante di Bonorva-Torralba si sviluppa per una lunghezza di circa 6.7 km e interessa il territorio dei comuni di Bonorva e Giave, in provincia di Sassari (SS).

Dal punto di vista orografico il tracciato di progetto relativo alla variante di Bonorva-Torralba impegna settori di territorio posti a quote comprese tra circa 356 m s.l.m. (località Nuraghe 'Oes) e 617 m s.l.m. circa in corrispondenza del versante orientale di Pianu Rocca Forte (635 m s.l.m.) mentre le quote progettuali variano da 356 m s.l.m. a 449 m s.l.m. circa.

Dal punto di vista morfologico l'area di studio relativa a Bonorva si caratterizza per la presenza di un altopiano basaltico su cui sorge il centro abitato di Giave e che ha il suo culmine in Pianu Rocca Forte (635 m s.l.m.) e per l'esistenza di piccoli e pronunciati rilievi di origine vulcanica che si ergono dalle aree più pianeggianti.

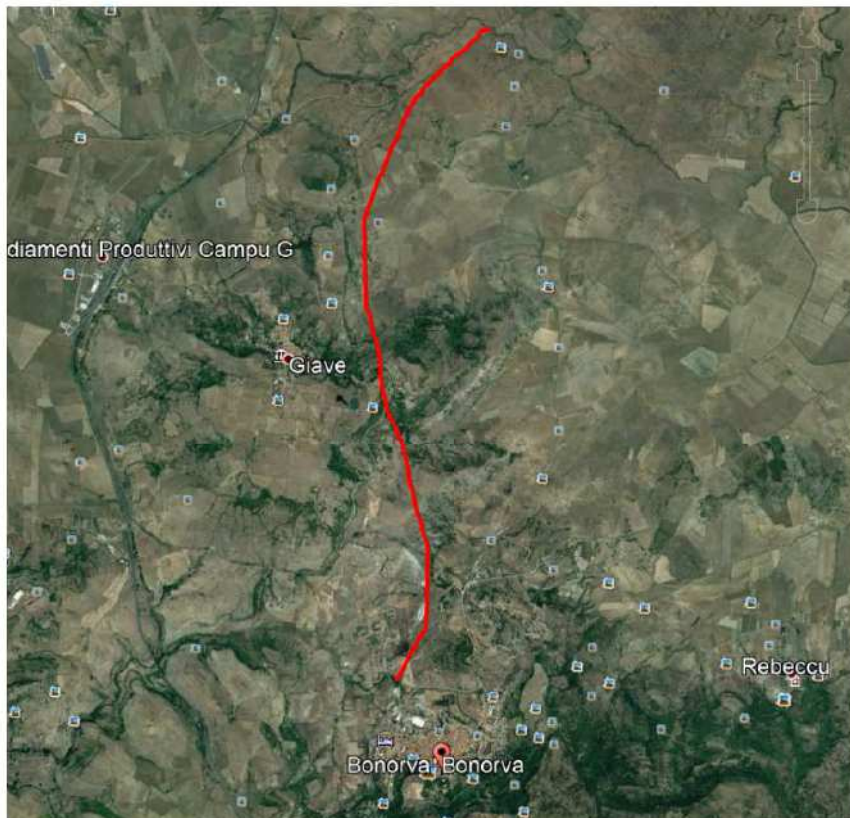
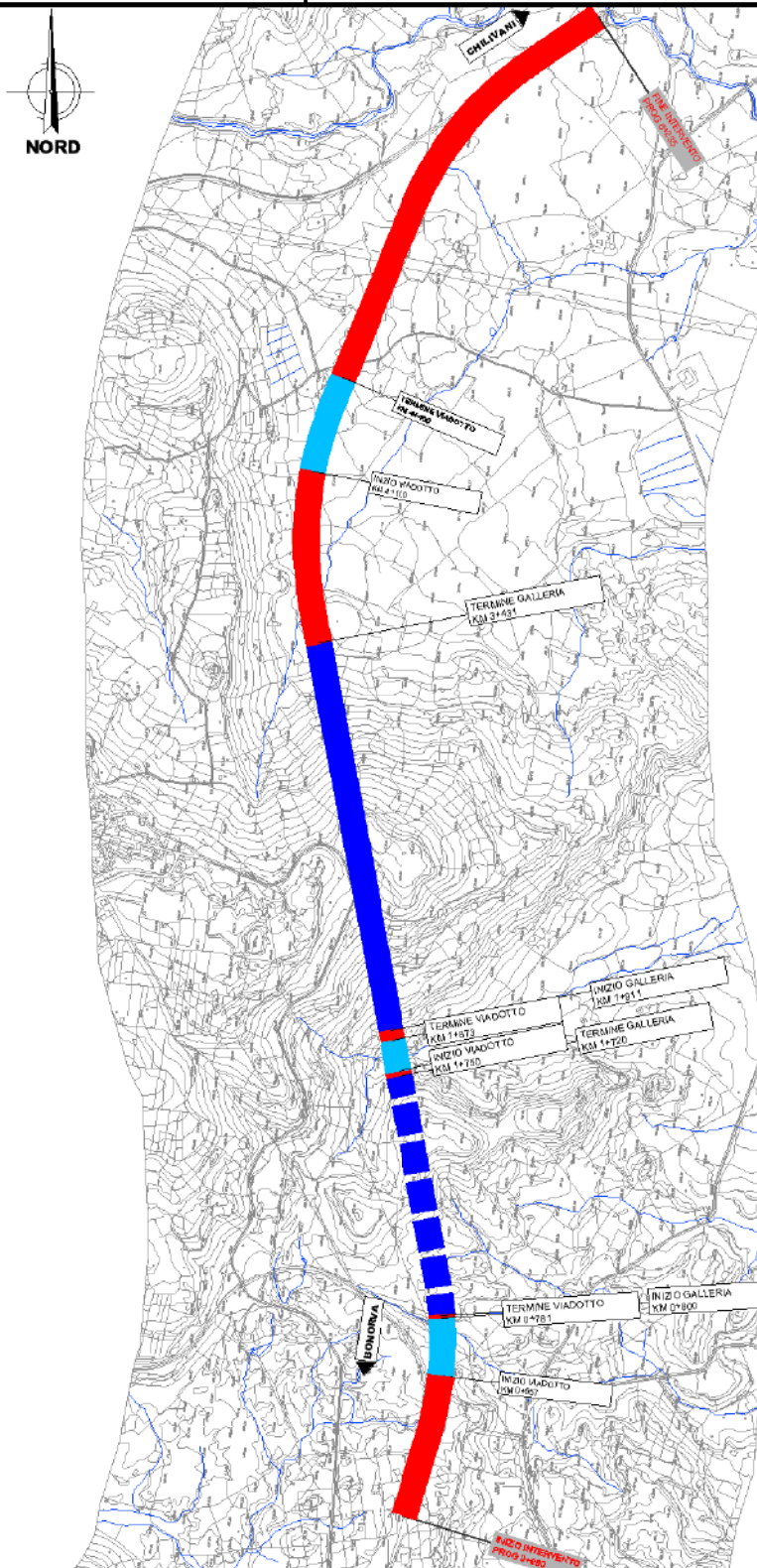


FIGURA 1- UBICAZIONE DELLA LINEA FERROVIARIA PER LA VARIANTE DI BONORVA-TORRALBA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D13 RI	ID 00 01 001	A	4 di 18



**FIGURA 2-SOVRAPPOSIZIONE DELLA VARIANTE IN PROGETTO CON IL RETICOLO IDROGRAFICO FORNITO DALLA ADB SARDEGNA.**



	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI -OLBIA</b> <b>VARIANTE DI BONORVA-TORRALBA</b>					
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA RR0H	LOTTO 04	CODIFICA D13 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

### 3. IDROLOGIA

Nell'ambito de seguente progetto è stato sviluppato uno studio idrologico propedeutico alla definizione delle portate di progetto per ogni corso d'acqua interferente con la linea ferroviaria di progetto e per ricavare le caratteristiche idrologiche delle aree di studio. Di seguito sono riportati i risultati della metodologia VAPI per la Regione Sardegna. I dati ottenuti sono stati utilizzati per definire le portate e le variabili idrologiche ricercate.

Lo studio idrologico ha previsto un'analisi dei bacini idrografici interferenti con la nuova variante ferroviaria al fine di determinare i valori di portata al colmo di piena con tempi di ritorno pari a 20, 50, 100, 200, 300 e 500 anni ed è stato articolato nelle seguenti fasi:

- analisi conoscitiva del sistema idrografico interferente con i tracciati di progetto volto ad individuare i principali parametri morfometrici;
- analisi probabilistica dei dati di piovosità applicabili alla zona di interesse del progetto ed ai singoli bacini;

Elaborati di riferimento:

Corografia dei bacini RR0H04D13C4ID0001001A

Relazione idraulica e di compatibilità idraulica RR0H04D13RIID0002001A

Relazione idraulica drenaggio di piattaforma ferroviaria e stradale e piazzali RR0H04D13RIID0002002A

#### 3.1 BACINI IDROGRAFICI

Con deliberazione in data 30.10.1990 n. 45/57, la Giunta Regionale suddivide il Bacino Unico Regionale in sette Sub-Bacini, già individuati nell'ambito del Piano per il Razionale Utilizzo delle Risorse Idriche della Sardegna (Piano Acque) redatto nel 1987.

Il territorio della regione Sardegna risulta suddiviso in sette bacini, ognuno dei quali presenta le proprie peculiarità in termini morfologici, idrologici e geografici. I corsi d'acqua e le interferenze idrauliche che ricadono sul territorio della variante di Bonorva-Torralba appartengono al bacino del fiume Coghinas. L'idrografia regionale è caratterizzata dalla quasi totale assenza di corsi d'acqua perenni. Infatti, i soli fiumi classificati come tali sono costituiti dal Tirso, dal Flumedosa, dal Coghinas, dal Cedrino, dal Liscia e dal Temo, unico navigabile nel tratto terminale.

La maggior parte dei corsi d'acqua, presenta caratteristiche torrentizie che, per la conformazione geomorfologica dei bacini imbriferi, presentano pendenze elevate per la maggior parte del loro percorso, con tratti vallivi, brevi che si sviluppano nei conoidi di deiezione o nelle piane alluvionali. Di conseguenza nelle parti montane si verificano intensi processi erosivi del alveo, mentre nei tratti di valle si osservano fenomeni di sovralluvionamento che danno luogo a sezioni poco incise con frequenti fenomeni di instabilità planimetrica anche per portate non particolarmente elevate.



**FIGURA 3-LIMITI TERRITORIALI DEI BACINI IDROGRAFICI DELLA SARDEGNA**

In particolare, l'idrografia del territorio interessato presenta un regime di tipo torrentizio dovuto principalmente alla conformazione geomorfologica dei bacini stessi, caratterizzati da pendenze elevate per larga parte del loro corso e tratti pianeggianti molto brevi.

Inoltre, il clima caratterizzante il bacino unico regionale può essere descritto come semiarido con una spiccata variabilità temporale della precipitazione ed intensità orarie elevate tipiche dei regimi pluviometrici marittimi.

Nei paragrafi successivi vengono illustrate le procedure seguite nell'applicazione del Progetto VAPI per la stima delle portate di assegnato tempo di ritorno in una sezione di chiusura di un corso d'acqua e i parametri governanti la legge di probabilità pluviometrica per la regione Sardegna.

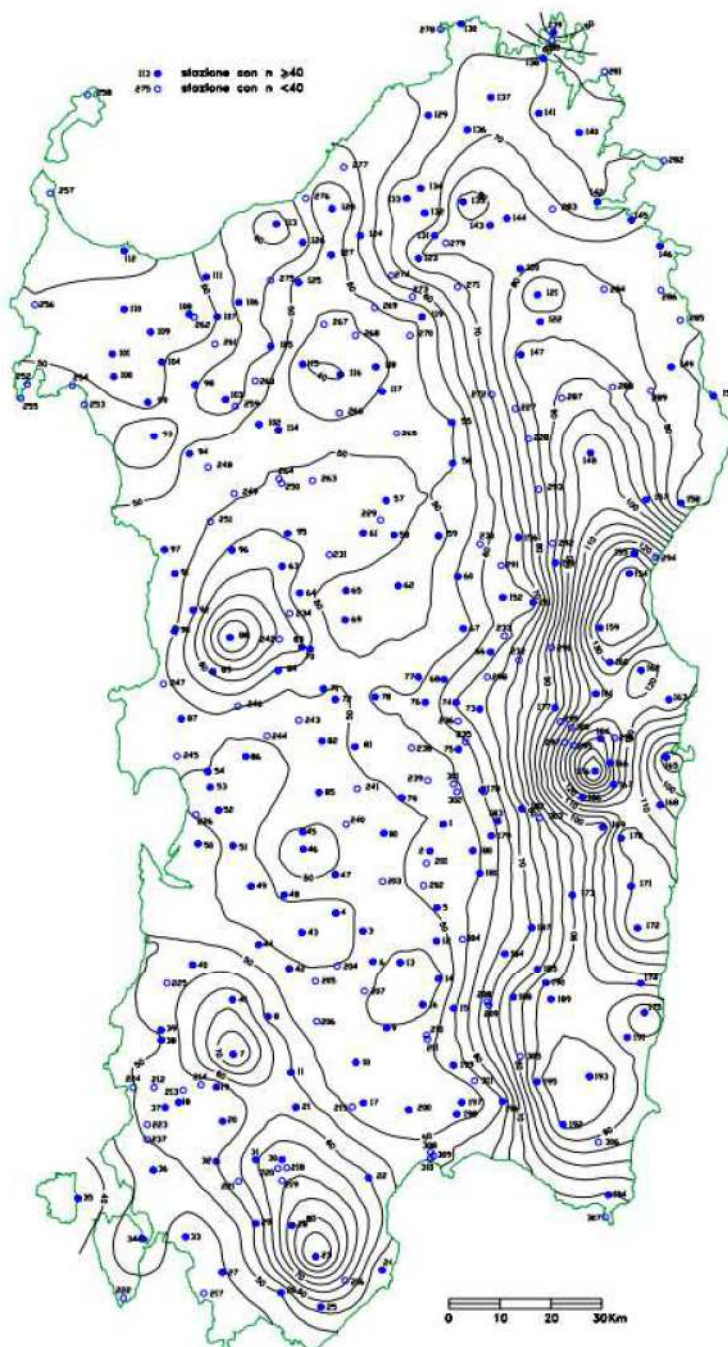
Tale analisi è stata supportata da:

- indagini effettuate nella modellazione dei dati pluviometrici e idrometrici della regione, contenute nel Rapporto Regionale pubblicato, Valutazione delle Piene in Sardegna [Cao et al., 1991]
- indagini derivate da analisi e materiali prodotti in data successiva [Deidda et al., 1993; Deidda e Piga, 1996; Deidda et al., 1997], che costituiscono la base per l'aggiornamento del Rapporto stesso, che sarà oggetto di successive attività di ricerca dell'U.O. 1.7 del GNDCI, presso l'Università di Cagliari.



### 3.2 PLUVIOMETRIA

Alla variabilità temporale della precipitazione si aggiunge anche quella spaziale caratterizzata dalla forte influenza dell'orografia con le principali direzioni dei flussi di umidità indotte dalle perturbazioni atmosferiche come si evince dalla distribuzione spaziale della media giornaliera. L'applicazione del modello TCEV per determinare il valore massimo annuale di altezza di pioggia utilizza i dati provenienti da 200 stazioni pluviometriche con almeno 40 anni di osservazioni registrati tra gli anni 1922-80. Per consentire un'ulteriore verifica, inoltre, sono stati utilizzati altri 111 pluviometri con serie di dati comprese fra i 15 e 39 anni di osservazione. La distribuzione delle stazioni menzionate è proposta nella figura seguente.



**FIGURA 4-DISTRIBUZIONE DEI PLUVIOMETRI SUL TERRITORIO DELLA SARDEGNA**

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI -OLBIA</b> <b>VARIANTE DI BONORVA-TORRALBA</b>					
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA RR0H	LOTTO 04	CODIFICA D13 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

Gli Annali Idrologici del Compartimento di Cagliari del SIMN congiuntamente ai dati provenienti dalla digitalizzazione dei diagrammi pluviometrici dello stesso compartimento hanno permesso le elaborazioni relative agli eventi brevi ed intensi.

In particolare, è stato utilizzato un database costituito dalle massime piogge annue di durata pari a 30, 45 e 60 minuti e 3, 6, 12 e 24 ore, registrate in 46 stazioni con almeno 17 anni di osservazioni fra gli anni 1929-82.

### 3.3 REGIONALIZZAZIONE DELLE PIOGGE-METODOLOGIA VAPI

#### 3.3.1 DISTRIBUZIONE TCEV

La procedura VAPI (Valutazione delle Piene in Italia) ha lo scopo di fornire una procedura uniforme per l'intero territorio nazionale in merito al calcolo delle portate di piena naturali. Tale metodologia utilizza per la variabile casuale  $ht$ , indicante il valore massimo annuale di altezza di pioggia di durata oraria o sub-oraria, il modello probabilistico TCEV (Two Components Extreme Value). Questo metodo si basa sull'ipotesi secondo la quale esistono due popolazioni, fra loro indipendenti, dalle quali provengono i valori estremi di una grandezza idrologica, quale  $ht$  :

- Eventi ordinari più frequenti e caratterizzati da valori mediamente meno elevati
- Eventi eccezionali (outliers) più rari e più gravosi
- Tale funzione di distribuzione di probabilità cumulata della variabile casuale  $x=ht$  risulta essere:

$$F_X(X) = \exp\left(-\Lambda_1 \exp^{-\frac{x}{\theta_1}} - \Lambda_2 \exp^{-\frac{x}{\theta_2}}\right)$$

La funzione è caratterizzata da quattro parametri:  $\Lambda_1$  e  $\Lambda_2$  rappresentanti il numero medio annuo di eventi pluviometrici indipendenti che appartengono rispettivamente alla popolazione di eventi ordinari e alla popolazione di eventi eccezionali;  $\theta_1$  e  $\theta_2$  indicanti il valore medio dell'altezza di pioggia di durata  $t$  di tali categorie di eventi.

Può risultare significativa la definizione di due ulteriori parametri  $\Theta_* = \theta_2/\theta_1$  e  $\Lambda_* = \Lambda_2/\Lambda_1^{1/\theta_*}$ , in quanto si dimostra che il coefficiente d'asimmetria  $\xi(ht)$  dipende unicamente da  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$ , mentre il coefficiente di variazione  $\gamma(ht)$  da  $\Lambda_*$ ,  $\Theta_*$  e  $\Lambda_1$ .

#### 3.3.2 STIMA REGIONALE DEI PARAMETRI CON I MASSIMI GIORNALIERI

La regionalizzazione delle altezze di pioggia  $h(t)_k$  effettuata nei diversi pluviometri  $k = 1, 2, \dots, n$  significa l'aggregazione di tali variabili in gruppi che presentino caratteristiche stocastiche comuni. Inoltre, è generalmente richiesto che tali insiemi presentino anche riferimenti geografici comuni.

Per la valutazione dei parametri  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$  il programma VAPI prevede un metodo di regionalizzazione in cui individua i tre seguenti livelli:

- al primo livello, omogeneità rispetto ai parametri  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$ , da cui deriva l'omogeneità rispetto al coefficiente d'asimmetria  $\xi(ht)$
- al secondo livello, omogeneità rispetto ai parametri  $\Lambda_1$  e  $\Theta_*$ , da cui deriva l'omogeneità rispetto al coefficiente di variazione  $\gamma(ht)$



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI -OLBIA</b> <b>VARIANTE DI BONORVA-TORRALBA</b>					
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA RR0H	LOTTO 04	CODIFICA D13 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

- al terzo livello, omogeneità rispetto ai parametri  $\lambda$ ,  $\mu$  e  $\sigma$ , da cui dipende la media  $\mu(t)$

Sulla base dei dati pluviometrici della regione Sardegna elaborati nel progetto VAPI, si è verificato che la regione Sardegna è pluviometricamente omogenea, pertanto, il coefficiente di asimmetria  $\xi(ht)$  e i parametri  $\Lambda_s$  e  $\Theta_s$  risultano costanti su tutto il territorio. Tali valori sono stati individuati con il metodo di massima verosimiglianza (MV) e sono risultati pari a:

$$\Lambda_s = 2.207 \quad \Theta_s = 0.5717$$

In seguito, sono state individuate tre sottozone (SZO) ognuna delle quali presenta omogeneità rispetto al coefficiente di variazione  $\gamma(ht)$  e, di conseguenza, rispetto al parametro  $\lambda$ .

Tale ipotesi è stata verificata producendo, per ognuna delle serie osservate, ulteriori 1000 serie sintetiche con lo stesso numero di dati, costruendo da tale database la curva di ripartizione teorica del coefficiente d'asimmetria campionario, determinando la probabilità di non superamento relativa al valore del coefficiente d'asimmetria osservato e verificando infine l'uniformità della distribuzione delle 200 probabilità di non superamento ottenute per le 200 stazioni.

A tale analisi è stato affiancato un confronto visivo con la distribuzione empirica dei 200 valori di asimmetria osservati e la distribuzione di riferimento, la quale è costituita da 200000 valori calcolati dalle generazioni. Per aggregare le stazioni in gruppi omogenei si sono utilizzate tecniche di cluster analysis.

Quindi, la stima dei parametri è stata effettuata, in prima istanza, utilizzando il metodo di massima verosimiglianza e in seguito si è proceduto ad affinare i risultati cambiando iterativamente i valori dei parametri, fino ad ottenere per le serie generate sinteticamente gli stessi coefficienti di variazione (CV) per ciascuna SZO.

La verifica di queste stime ha utilizzato un procedimento analogo a quello che si è impiegato al primo livello di regionalizzazione.

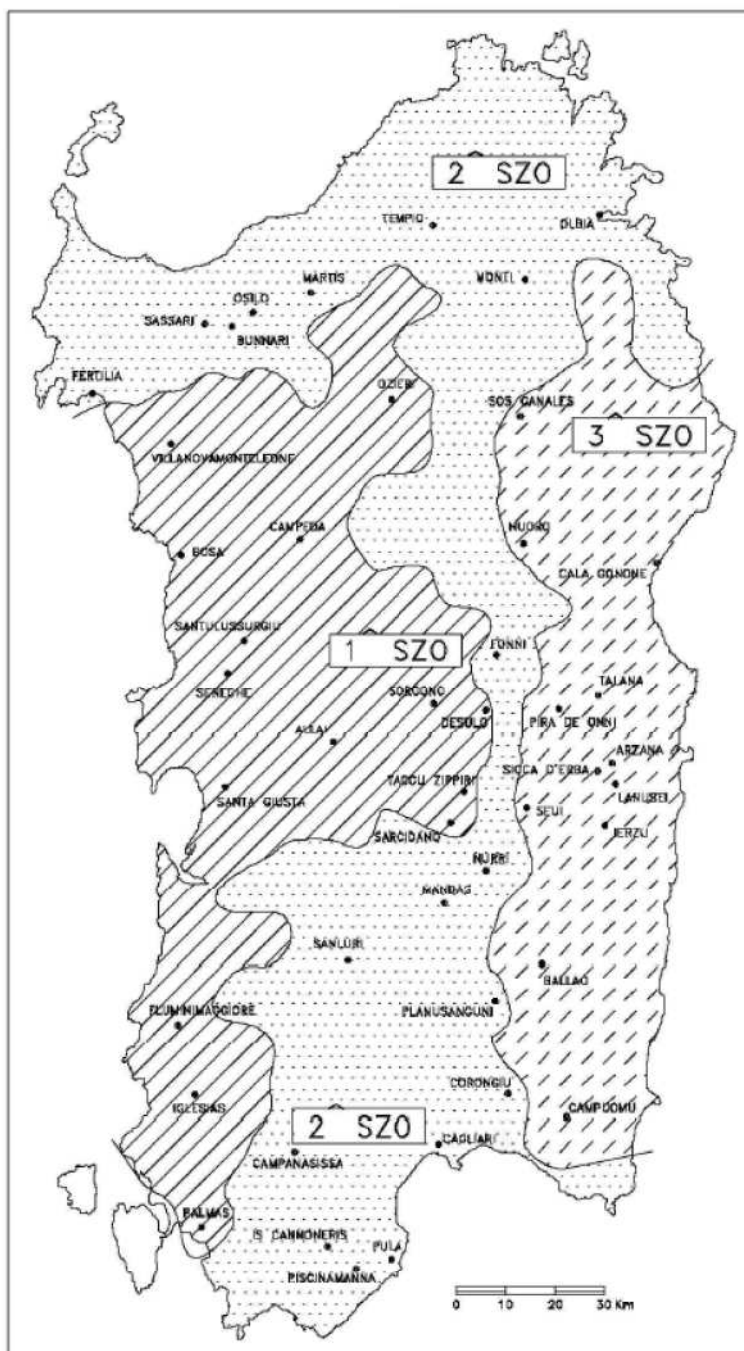
Infine, la delimitazione territoriale delle SZO è stata effettuata tenendo in conto anche le 111 stazioni con minor numero di dati, le quali sono state suddivise tra i tre gruppi con tecniche di analisi discriminante e si è proceduto, quindi, ad aggregare i topoi delle stazioni appartenenti alla stessa SZO. Infine, la spezzata che costituisce il confine della zona è stata regolarizzata con una spline function.

Il risultato di tale operazione ha permesso di individuare tre sottozone in cui il valore del parametro  $\lambda$  sono risultati, rispettivamente:  $\Lambda_1, \Lambda_2, \Lambda_3$

$$1 \text{ SZO} \quad \Lambda_1 = 74.50$$

$$2 \text{ SZO} \quad \Lambda_1 = 21.20$$

$$3 \text{ SZO} \quad \Lambda_1 = 6.68$$



**FIGURA 5-CARTA DELLA SUDDIVISIONE IN SOTTOZONE PLUVIOMETRICHE OMOGENEE**

Pertanto, una volta che sono stati definiti i parametri di forma e scala della distribuzione di probabilità cumulata (PDC) per ognuna delle tre SZO è univocamente definita la relazione fra periodo di ritorno T e valore del coefficiente di crescita KT, inteso come il rapporto fra precipitazione di dato tempo di ritorno e pioggia indice:

$$T = \frac{1}{1 - F_K(K)} = \frac{1}{1 - \exp(-\Lambda_1 \cdot e^{-\eta k} - \Lambda_2 \cdot \Lambda_1^{1/\theta_0} \cdot e^{(-\eta k / \theta_0)})} \quad (1)$$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI -OLBIA</b> <b>VARIANTE DI BONORVA-TORRALBA</b>					
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA RR0H	LOTTO 04	CODIFICA D13 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

Si riportano in Tabella 1 i parametri dell'equazione (1) propri di ciascuna delle 3 SZO della Sardegna.

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100
$K_T$ (SZO 1)	0.92	1.21	1.44	1.68	1.76	1.93	2.01	2.26
$K_T$ (SZO 2)	0.9	1.27	1.56	1.86	1.96	2.18	2.28	2.61
$K_T$ (SZO 3)	0.86	1.36	1.74	2.15	2.28	2.57	2.71	3.15

**TABELLA 1- VALORI TEORICI DEL COEFFICIENTE PROBABILISTICO DI CRESCITA  $K_T$  PER LE PIOGGE GIORNALIERE IN SARDEGNA, PER ALCUNI VALORI DEL TEMPO DI RITORNO**

Si riportano qui di seguito le relazioni valide per tempi di ritorno fra 2 e 1000 anni che hanno permesso il calcolo dei coefficienti di crescita riportati in Tabella 2.

$$1^\circ \text{ SZO} \quad K_T = 0.69319 + 0.72015 \log T + 3.1364 \cdot 10^{-2} (\log T)^2$$

$$2^\circ \text{ SZO} \quad K_T = 0.60937 + 0.91699 \log T + 3.9932 \cdot 10^{-2} (\log T)^2 \quad (2)$$

$$3^\circ \text{ SZO} \quad K_T = 0.47839 + 1.2245 \log T + 5.3321 \cdot 10^{-2} (\log T)^2$$

### 3.3.3 PIOGGE GIORNALIERE BREVI ED INTENSE

Le piogge brevi ed intense sono state valutate con la stessa metodologia utilizzata per le piogge giornaliere per il primo e secondo livello di regionalizzazione.

Come già precedentemente evidenziato, è stata confermata l'esistenza di un'unica ZO per quel che riguarda il primo livello di regionalizzazione mentre al secondo livello di regionalizzazione il territorio è stato suddiviso in tre SZO. I parametri  $\Delta_s$ ,  $\theta_s$  e  $\Delta_1$  sono risultati strettamente dipendenti dalla durata dell'evento. In particolare,  $\Delta_s$ ,  $\theta_s$  sono stati calcolati con l'algoritmo MV e sono stati regolarizzati al variare della durata, come indicati nella tabella seguente:

Durata	$\Delta_s$	$\theta_s$	$\Delta_1$		
			SZO1	SZO2	SZO3
30'	0.5717	1.402	12.88	11.78	10.35
45'	0.5717	1.805	17.80	15.11	13.20
60'	0.5717	2.207	26.55	20.85	16.55
3 ore	0.5717	2.207	31.06	27.40	15.31
6 ore	0.5717	2.207	47.39	29.16	12.94
12 ore	0.5717	2.207	45.85	31.57	10.17
24 ore	0.5717	2.207	56.29	27.12	8.07

**TABELLA 2-PARAMETRI STATISTICI DEI MASSIMI ANNUALI DELLE ALTEZZE DI PIOGGIA DI DIVERSA DURATA**

Come già precedentemente effettuato, anche per le piogge brevi ed intense si sono ricavate espressioni che permettono il calcolo di  $K_T$  in funzione del tempo di ritorno T. Ciò è stato fatto calcolando per ognuna delle tre SZO e per i tempi di ritorno



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI -OLBIA</b> <b>VARIANTE DI BONORVA-TORRALBA</b>					
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA RR0H	LOTTO 04	CODIFICA D13 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

da 2 a 1000 anni i KT per le durate da 0.5 a 24 ore. Considerando tempi di ritorno fino a 10 anni, i valori di KT, al variare della durata di pioggia d, sono adeguatamente rappresentati da un'unica espressione quale:

$$K_T = a_1 d^{n_1} \quad (3)$$

dove i coefficienti  $a_1$  e  $n_1$  sono funzione del tempo di ritorno T. Tuttavia, al crescere di T, l'espressione monomia presenta un ginocchio molto marcato in corrispondenza della durata di pioggia pari a 1 ora, che porta a considerare tale valore come indice discriminante fra il comportamento dei gruppi contenenti rispettivamente le piogge di durata inferiore all'ora e quello corrispondente alle durate superiori l'ora. Per tale motivo, si adottano due diverse espressioni monomie valide rispettivamente per il primo gruppo menzionato e per il secondo:

$$K_T = a_{2'} d^{n_{2'}} \quad \text{per } d \leq 1 \text{ ora} \quad (4a)$$

$$K_T = a_{2''} d^{n_{2''}} \quad \text{per } d \geq 1 \text{ ora} \quad (4b)$$

I coefficienti  $a_{2'}$  e  $a_{2''}$ , entrambi rappresentativi della pioggia oraria, hanno pari valore. Al contrario, i coefficienti  $n_{2'}$  e  $n_{2''}$  variano in funzione della durata dell'evento di pioggia. Si illustrano di seguito le formule utilizzate per il calcolo di tali parametri.

$$1^\circ \text{ SZO} \quad a_{2'} = a_{2''} = 0.46378 + 1.0386 \text{ Log } T; \quad (5a)$$

$$n_{2'} = -0.18449 + 0.23032 \text{ Log } T - 3.3330 \cdot 10^{-2} (\text{Log } T)^2; \quad (5b)$$

$$n_{2''} = -1.0563 \cdot 10^{-2} - 7.99034 \cdot 10^{-3} \text{ Log } T \quad (5c)$$

$$2^\circ \text{ SZO} \quad a_{2'} = a_{2''} = 0.44182 + 1.0817 \text{ Log } T; \quad (6a)$$

$$n_{2'} = -0.18676 + 0.24310 \text{ Log } T - 3.5453 \cdot 10^{-2} (\text{Log } T)^2; \quad (6b)$$

$$n_{2''} = -5.6593 \cdot 10^{-2} - 4.0872 \cdot 10^{-3} \text{ Log } T \quad (6c)$$

$$3^\circ \text{ SZO} \quad a_{2'} = a_{2''} = 0.41273 + 1.1370 \text{ Log } T; \quad (7a)$$

$$n_{2'} = -0.19055 + 0.25937 \text{ Log } T - 3.8160 \cdot 10^{-2} (\text{Log } T)^2; \quad (7b)$$

$$n_{2''} = 1.5878 \cdot 10^{-2} + 7.6250 \cdot 10^{-3} \text{ Log } T \quad (7c)$$

### 3.3.4 LEGGI DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA

Per quel che riguarda il terzo livello di regionalizzazione, la pioggia indice viene intesa come la media del massimo annuale dell'altezza di precipitazione giornaliera  $\mu$ [hg].

Tale pioggia indice è stata distribuita sul territorio utilizzando tre differenti modelli di trasposizione, per i quali sono state valutate le corrispondenti prestazioni:

il primo modello è basato sulla mappatura spaziale della grandezza di interesse, attraverso tecniche di Kriging;

il secondo modello identifica aree omogenee caratterizzate da correlazioni lineari tra il logaritmo della pioggia indice e la quota sul mare della stazione;

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI -OLBIA</b> <b>VARIANTE DI BONORVA-TORRALBA</b>					
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA RR0H	LOTTO 04	CODIFICA D13 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

il terzo modello utilizza modelli neurali.

Per poter calibrare i tre modelli sono state utilizzate le osservazioni delle 200 stazioni con la base dati più ampia, mentre per la fase di verifica sono state introdotte anche le osservazioni provenienti dalle 111 stazioni con un numero di dati inferiore.

Dalle analisi effettuate, il modello basato sulle tecniche di Kriging si è rivelato quello con maggiori capacità interpretative. Per la sua applicazione, quindi, sono stati stimati in prima istanza i valori di  $\mu$ [hg] in corrispondenza dei nodi di un reticolo disposto sull'intera regione di 1 km di lato. La stima della pioggia indice in un qualunque altro punto può dunque essere ricavata applicando una semplice interpolazione lineare fra i valori dei quattro nodi circostanti.

Il legame tra pioggia indice  $\mu$ [h( $\tau$ )] e la relativa durata  $\tau$  è espresso dalla seguente espressione:

$$\mu[h(\tau)] = a_0 d^{n_0} \quad (8)$$

Nel caso di siti non osservati nei quali non sono presenti i valori dei parametri  $a_0$  e  $n_0$ , si è scelto di individuare relazioni generali che utilizzassero l'altezza di pioggia media giornaliera, più semplicemente calcolabile in tutto il territorio, in virtù di quanto precedentemente espresso.

Le relazioni espressione dei parametri  $a_0$  e  $n_0$  risultano:

$$a_0 = \mu[hg] / (0.886 \ 24 \ n_0) \quad (9a)$$

$$n_0 = -0.493 + 0.476 \text{ Log } \mu[hg] \quad (9b)$$

Quindi, dalla carta che illustra la suddivisione in SZO si seleziona la sottozona omogenea in cui ricade il bacino idrografico in esame.

Utilizzando poi la carta delle isoiete si può ricavare la pioggia indice giornaliera  $\mu$ [hg] (in mm) a livello della sezione di chiusura del bacino; infine, l'altezza di pioggia  $h_T(d)$  con tempo di ritorno  $T$  e durata assegnata si ottiene dalla seguente espressione:

$$h_T(d) = \mu[h(\tau)] K_T(\tau) = a_0 a_2 \cdot \tau^{(n_0+n_2)} \quad (10)$$

In cui  $a_2$  e  $n_2$  saranno pari rispettivamente a  $a_2'$  e  $n_2'$  per le durate inferiori all'ora, e ad  $a_2''$  e  $n_2''$  per le durate superiori all'ora.

#### 4. RISULTATI DELLO STUDIO IDROLOGICO

Dalla carta della suddivisione in sottozone pluviometriche omogenee (SZO) si può evincere che la linea ferroviaria oggetto del progetto si colloca interamente nella sottozona SZO 1. Dalla carta delle isoiete leggiamo una pioggia indice giornaliera  $\mu$ [hg] pari a 50 mm. Si è proceduto dunque alla determinazione dei parametri  $a_0$  ed  $n_0$  della curva di crescita mediante le equazioni (9). Ne seguono i seguenti risultati:

TABELLA 3:PARAMETRI DELLA CURVA DI CRESCITA

$\mu_g$ [mm]	$a_0$	$n_0$
50.00	20.69	0.32

Successivamente, mediante le equazioni (5) si è proceduto al calcolo di  $a_2'$  e  $n_2'$  per le durate inferiori all'ora, e ad  $a_2''$  e  $n_2''$  per le durate superiori all'ora.

Tr [anni]	$a_2' = a_2''$	$n_2'$	$n_2''$
5	1.19	-0.03979	-0.01609
20	1.82	0.058746	-0.02085
25	1.92	0.072349	-0.02161
50	2.23	0.11061	-0.02399
100	2.54	0.14283	-0.02637
200	2.85	0.16901	-0.02875
300	3.04	0.181523	-0.03014
500	3.27	0.194346	-0.03189

#### 4.1 CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA PER TEMPI DI PIOGGIA INFERIORI ALL'ORA

Per tempi di pioggia inferiori all'ora i parametri  $a$  ed  $n$  caratteristici della curva di possibilità pluviometrica per i tempi di ritorno sù indicati risultano pari a:

$$a = a_0 a_2' \quad n = n_0 + n_2'$$

**TABELLA 4:PARAMETRI DELLA CURVA DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA PER  $t < 1$  ORA**

Tr	a	n
5	24.617	0.28
20	37.556	0.37
25	39.638	0.39
50	46.107	0.43
100	52.576	0.46
200	59.046	0.48
300	62.830	0.50
500	67.597	0.51

Nelle seguenti tabelle si mostrano i dati di altezza e intensità di precipitazione ricavati mediante l'equazione (10):



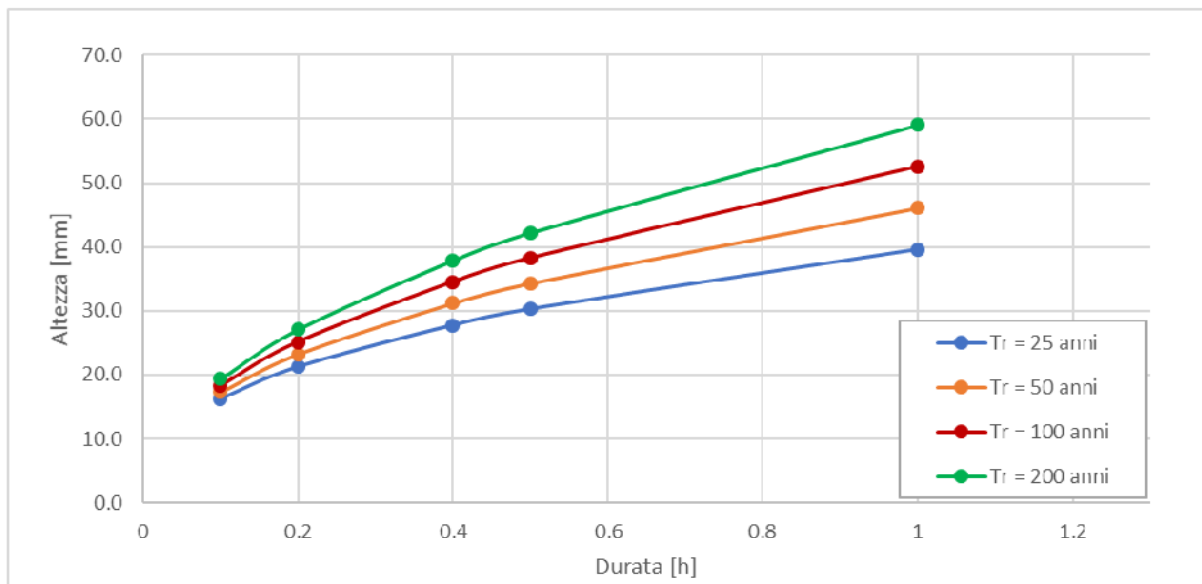
**TABELLA 5: VALORI DI ALTEZZA E INTENSITÀ DI PRECIPITAZIONE**

Tr = 25 anni			Tr = 50 anni		
t	h	i	t	h	i
[h]	[mm]	[mm/h]	[h]	[mm]	[mm/h]
0.1	16.220	162.201	0.1	17.276	172.763
0.2	21.226	106.131	0.2	23.216	116.079
0.4	27.777	69.443	0.4	31.198	77.994
0.5	30.290	60.580	0.5	34.311	68.622
1	39.638	39.638	1	46.107	46.107

Tr = 100 anni			Tr = 200 anni		
t	h	i	t	h	i
[h]	[mm]	[mm/h]	[h]	[mm]	[mm/h]
0.1	18.292	182.916	0.1	19.341	193.405
0.2	25.135	125.677	0.2	27.063	135.317
0.4	34.540	86.350	0.4	37.870	94.676
0.5	38.261	76.522	0.5	42.196	84.392
1	52.576	52.576	1	59.046	59.046

Ne conseguono le seguenti curve di possibilità pluviometrica per tempi di ritorno pari a 25, 50, 100 e 200 anni.



**FIGURA 6: CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA\_ALTEZZA DI PRECIPITAZIONE IN FUNZIONE DEL TEMPO DI PIOGGIA (t < 1 ora)**

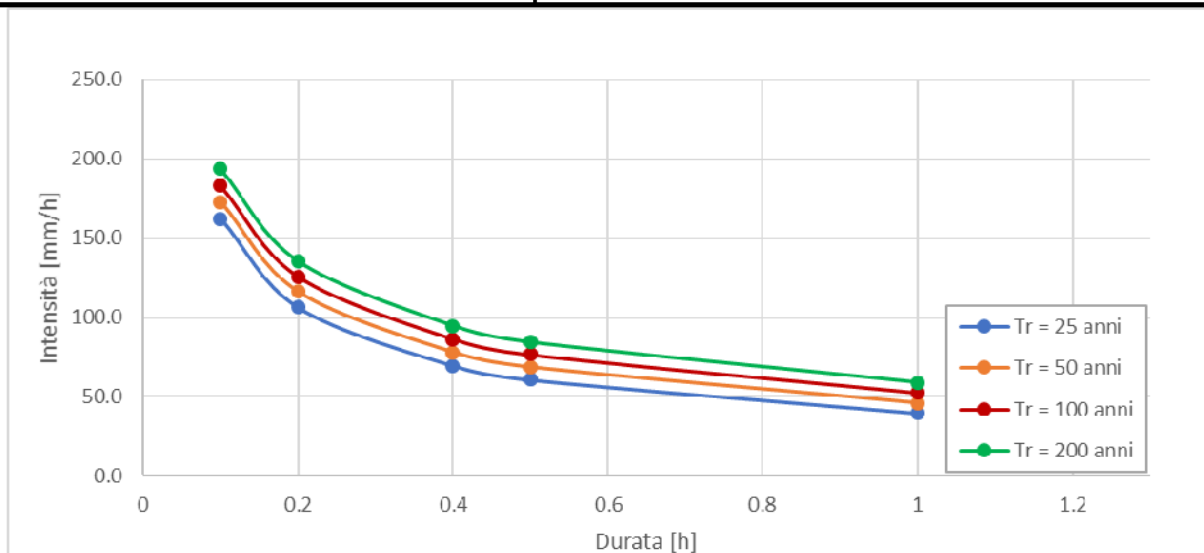


FIGURA 7:INTENSITÀ DI PIOGGIA IN FUNZIONE DEL TEMPO DI PIOGGIA (t < 1 ora)

Le curve di possibilità pluviometrica utilizzate sono qui sotto riportate:

Tempo di ritorno [anni]	$h = at^n$ [mm]	Ambito
25	$39.64 t^{0.39}$	Dimensionamento del drenaggio di piattaforma stradale
100	$52.58 t^{0.46}$	Dimensionamento del drenaggio di piattaforma ferroviaria
200	$59.05 t^{0.48}$	Verifiche idrauliche delle interferenze idrografiche

#### 4.2 CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA PER TEMPI DI PIOGGIA SUPERIORI ALL'ORA

Per tempi di pioggia superiori all'ora i parametri a ed n caratteristici della curva di possibilità pluviometrica per i tempi di ritorno su indicati risultano pari a:

$$a = a_0 a_2^{1/n} \quad n = n_0 + n_2^{1/n}$$

TABELLA 6: PARAMETRI DELLA CURVA DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA PER t > 1 ORA

Tr	a	n
5	24.617	0.30
20	37.556	0.29
25	39.638	0.29
50	46.107	0.29
100	52.576	0.29
200	59.046	0.29
300	62.830	0.29
500	67.597	0.28

Nelle seguenti tabelle si mostrano i dati di altezza e intensità di precipitazione ricavati mediante l'equazione (10):

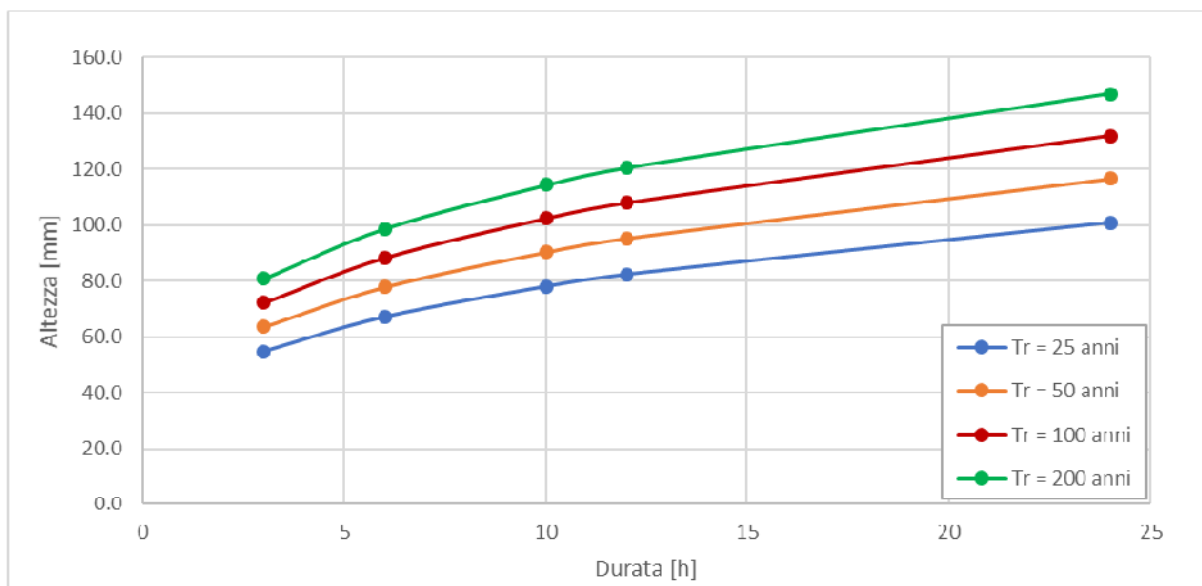
**TABELLA 7: VALORI DI ALTEZZA E INTENSITÀ DI PRECIPITAZIONE**

Tr = 25 anni			Tr = 50 anni		
t	h	i	t	h	i
[h]	[mm]	[mm/h]	[h]	[mm]	[mm/h]
3	54.756	18.252	3	63.527	21.176
6	67.138	11.190	6	77.763	12.960
10	78.021	7.802	10	90.259	9.026
12	82.319	6.860	12	95.189	7.932
24	100.932	4.206	24	116.521	4.855

Tr = 100 anni			Tr = 200 anni		
t	h	i	t	h	i
[h]	[mm]	[mm/h]	[h]	[mm]	[mm/h]
3	72.251	24.084	3	80.929	26.976
6	88.296	14.716	6	98.739	16.456
10	102.360	10.236	10	114.327	11.433
12	107.905	8.992	12	120.468	10.039
24	131.869	5.495	24	146.979	6.124

Ne conseguono le seguenti curve di possibilità pluviometrica per tempi di ritorno pari a 25, 50, 100 e 200 anni.



**FIGURA 8: CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA\_ALTEZZA DI PRECIPITAZIONE IN FUNZIONE DEL TEMPO DI PIOGGIA (t > 1 ora)**



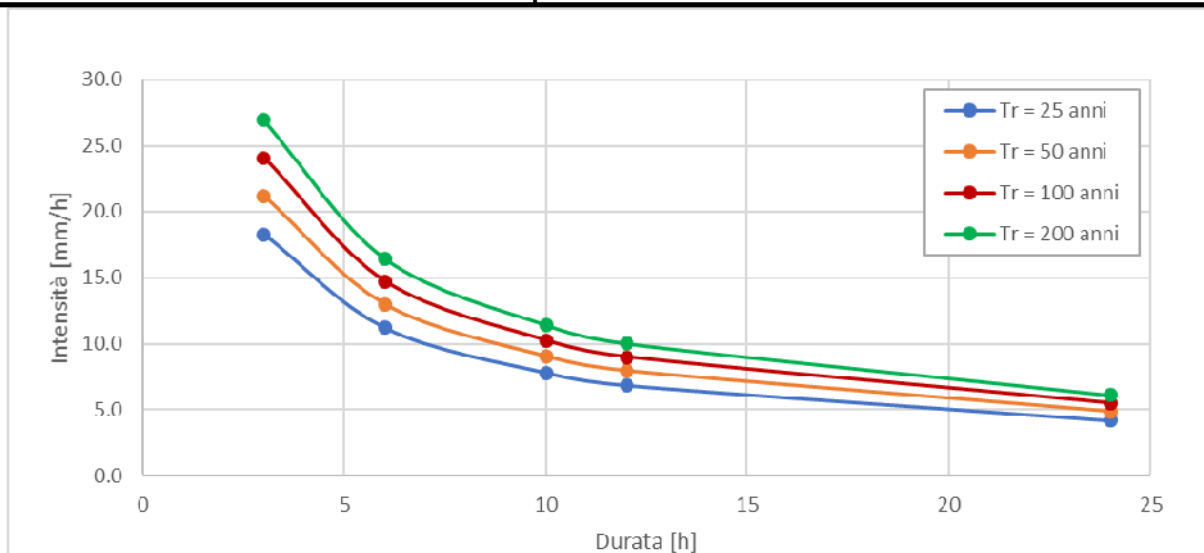


FIGURA 9: INTENSITÀ DI PIOGGIA IN FUNZIONE DEL TEMPO DI PIOGGIA (t > 1 ora)

Le curve di possibilità pluviometrica utilizzate sono qui sotto riportate:

Tempo di ritorno [anni]	$h = at^n$ [mm]	Ambito
25	$39.64 t^{0.29}$	Dimensionamento del drenaggio di piattaforma stradale
100	$52.58 t^{0.29}$	Dimensionamento del drenaggio di piattaforma ferroviaria
200	$59.05 t^{0.29}$	Verifiche idrauliche delle interferenze idrografiche