

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE



DIREZIONE TECNICA

U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO

PROGETTO DEFINITIVO

ITINERARIO NAPOLI – BARI
RADDOPPIO TRATTA BOVINO – ORSARA

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione Idrologica

SCALA:

-

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

IF1W 00 D 29 RI ID0001 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	D.Orlando 	Sett. 2018	C.Volpini 	Sett. 2018	D.Aprea 	Sett. 2018	

INDICE

1	INQUADRAMENTO GENERALE DEL PROGETTO	4
2	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	6
3	INQUADRAMENTO DELL'AREA	8
3.1	MORFOLOGIA	8
3.2	I BACINI DI INTERESSE	8
3.3	LINEAMENTI GEO-LITOLOGICI	9
3.4	CLIMA	10
3.5	PERICOLOSITÀ IDRAULICA	10
3.6	PRECEDENTI STUDI IDROLOGICI SULL'AREA DI INTERESSE	12
4	MODELLI PROBABILISTICI PER L'ANALISI STATISTICA REGIONALE DELLE PIOGGE E DELLE PIENE	13
4.1	IL MODELLO PROBABILISTICO DI GUMBEL	13
4.2	IL MODELLO PROBABILISTICO TCEV	14
4.3	APPROCCIO GERARCHICO ALLA STIMA REGIONALE DEI PARAMETRI	15
5	ANALISI REGIONALE DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE	17
5.1	DATI UTILIZZATI	17
5.2	ANALISI PRELIMINARE DEI DATI DI PIOVOSITÀ	18
5.3	CURVE REGIONALI DI CRESCITA DELLE PRECIPITAZIONI	18
5.4	LA RELAZIONE INTENSITÀ-DURATA DELLE PRECIPITAZIONI	20
5.5	CALCOLO DELLE CURVE DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICHE DEI BACINI DI INTERESSE	20
6	ANALISI STATISTICA REGIONALE DELLE PIENE	22
6.1	CURVE REGIONALI DI CRESCITA DELLE PIENE	22

6.2	IL TEMPO DI RITARDO.....	23
6.2.1	<i>Bacini di dimensioni medio-grandi</i>	24
6.2.2	<i>Bacini di piccole dimensioni</i>	24
6.2.3	<i>Superfici scolanti</i>	25
6.3	IL COEFFICIENTE STATISTICO DI PIENA	26
6.4	TARATURA DEL TEMPO DI RITARDO E DEL COEFFICIENTE STATISTICO DI PIENA	26
6.5	PORTATE MEDIE AL COLMO STIMATE PER I BACINI DI INTERESSE	27
7	BIBLIOGRAFIA	29
8	ALLEGATI	31

1 INQUADRAMENTO GENERALE DEL PROGETTO

La tratta ferroviaria Orsara-Bovino si inserisce nel più ampio ambito di riqualificazione e potenziamento dell'itinerario ferroviario Roma – Napoli – Bari finalizzato a rispondere all'esigenza prioritaria di miglioramento delle connessioni interne del Mezzogiorno, con l'obiettivo di realizzare una rete di servizi al fine di ottimizzare lo scambio commerciale, culturale e turistico tra le varie città e relative aree.

Sotto il profilo funzionale e strutturale, la realizzazione dell'alta capacità Napoli – Bari, unitamente all'attivazione del sistema ferroviario dell'alta velocità Roma – Napoli, favorirà l'integrazione dell'infrastruttura ferroviaria del Sud – Est con le Diretrici di collegamento al Nord del Paese e con l'Europa, a sostegno dello sviluppo socio-economico del Mezzogiorno, riconnettendo due aree, quella campana e quella pugliese.

La riqualificazione e lo sviluppo dell'itinerario Roma/Napoli – Bari prevede interventi di raddoppio delle tratte ferroviarie a singolo binario e varianti agli attuali scenari perseguendo la scelta delle migliori soluzioni che garantiscano la velocizzazione dei collegamenti e l'aumento dell'offerta generalizzata del servizio ferroviario, elevando l'accessibilità al servizio medesimo nelle aree attraversate.

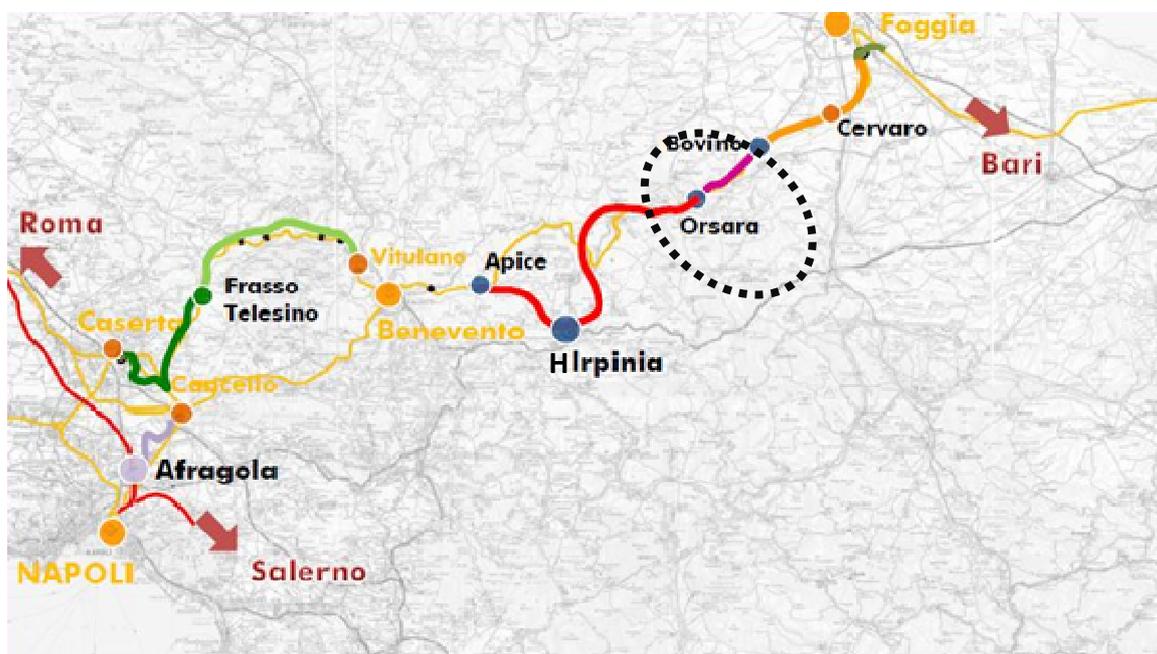


Figura 1 - Corografia Generale Itinerario Napoli – Foggia – Bari

Gli obiettivi generali derivanti dalla realizzazione dell'itinerario consistono quindi in:

- rispondere all'esigenza prioritaria di migliorare le connessioni interne al Mezzogiorno per costruire una rete di servizi tra le varie città e le relative aree urbane, che assicuri il netto miglioramento di ogni forma di scambio turistico;

- migliorare la competitività del trasporto su ferro attraverso l'incremento di livelli prestazionali, comparabili con il trasporto in gomma, ed un significativo recupero dei tempi di percorrenza;
- migliorare l'integrazione della rete ferroviaria verso Sud – Est ed estendendo in tale direzione i collegamenti AV/AC;
- migliorare le connessioni della Regione Puglia e delle province più interne della Regione Campania al sistema di trasporto nazionale, ed in particolare alla dorsale ferroviaria appenninica, di cui la linea AV/AC Milano – Roma – Napoli è parte integrante, quale primo passo di un processo di più ampio respiro che vede la presenza di altre Regioni.

Il potenziamento dell'asse ferroviario di collegamento fra il Tirreno e l'Adriatico permetterà inoltre di creare un "tripolo" (Roma, Napoli e Bari) che costituirà uno dei sistemi metropolitani più grandi d'Europa. Sul fronte internazionale, nell'ambito del nuovo assetto dei corridoi transeuropei (TEN-T) definito dalla Commissione Europea il 19 ottobre 2011, è stato identificato come prioritario lo sviluppo dell'Itinerario Napoli – Bari, che nello specifico rientra all'interno del Corridoio 5 Helsinki – Valletta.

L'itinerario Roma/Napoli – Bari è articolato in diverse tratte funzionali, di cui alcune già attive e alcune in fase di progettazione preliminare e definitiva:

- Variante alla linea Napoli - Canello – in fase di aggiudicazione appalto;
- Tratta Canello – Frasso – in fase di aggiudicazione appalto;
- Tratta Frasso – Vitulano – progetto definitivo;
- Tratta Vitulano – Apice – tratta attiva a doppio binario (anni '80);
- Tratta Apice – Hirpinia – in fase di aggiudicazione appalto;
- Tratta Hirpinia – Orsara – progetto definitivo;
- Tratta Orsara – Bovino – progetto definitivo;
- Tratta Bovino – Cervaro – tratta attivata nel 2017;
- Tratta Cervaro – Foggia Centrale – tratta attiva a doppio binario;
- Tratta Foggia – Bari - tratta attiva a doppio binario.

La variante oggetto del presente Progetto Definitivo interessa il tratto centrale della direttrice Napoli – Bari e risulta strategica nel riassetto complessivo dei collegamenti metropolitani, regionali e lunga percorrenza previsto con la realizzazione di tutto il potenziamento. Si colloca in territorio campano e i comuni attraversati sono rispettivamente per la provincia di Avellino: Ariano Irpino e Flumeri per la provincia di Foggia: Orsara di Puglia e Bovino.

2 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Il progetto della tratta Bovino-Orsara è da considerarsi come la 1^a fase (fase funzionale) dell'intera tratta Bovino-Orsara-Hirpinia. Il tracciato infatti prevede in prossimità dell'attuale fermata di Orsara un allaccio provvisorio con la linea storica Foggia-Caserta.

La linea AV/AC si sviluppa prevalentemente in galleria è a doppio binario con una velocità compresa tra 200 e 250 Km/h ed ha una lunghezza complessiva di L=11,85 km, il collegamento provvisorio, sempre a doppio binario è progettato con una velocità di 90 Km/h e sviluppa complessivamente 1,25 km circa.

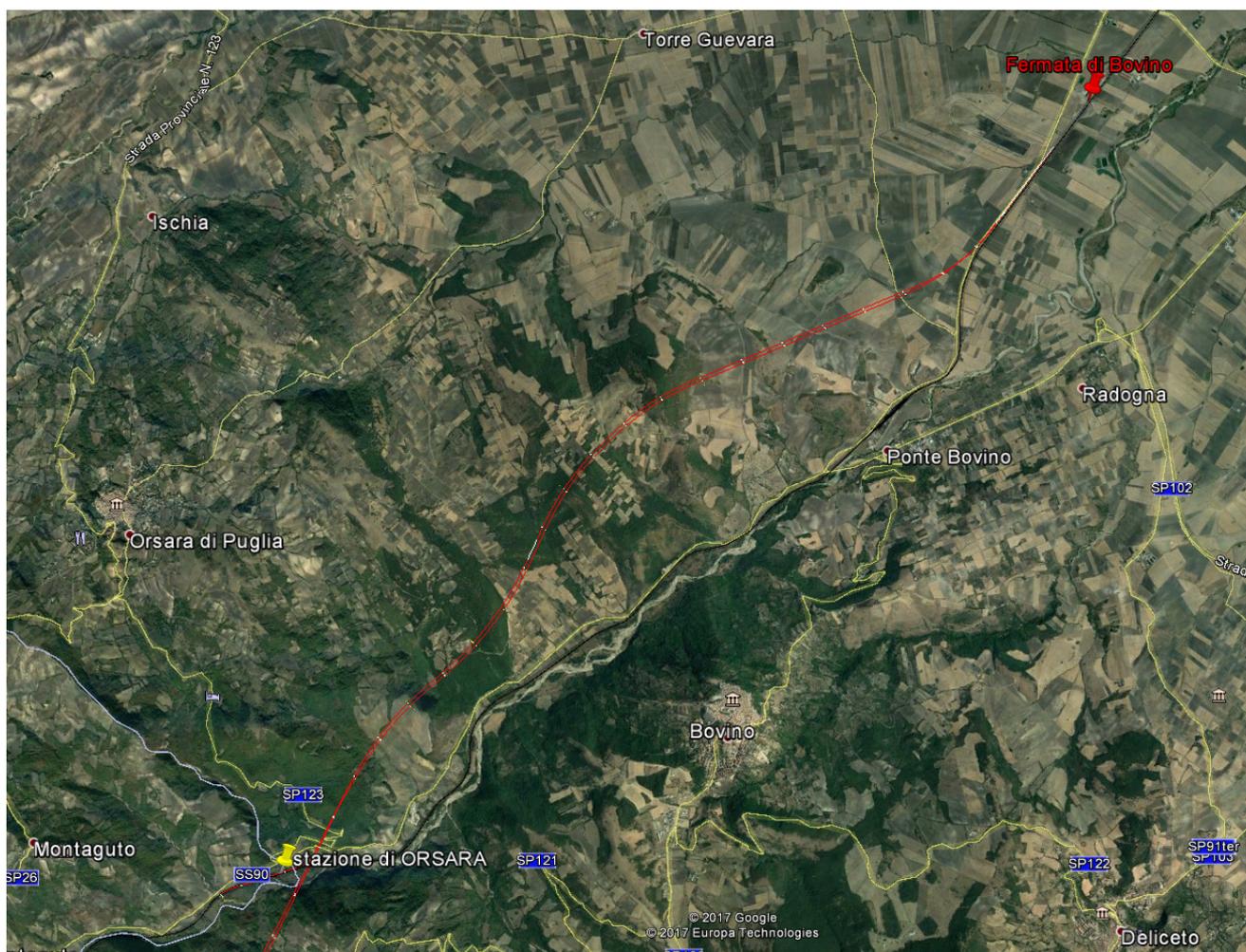


Figura 2 - Inquadramento della tratta in progetto

La presente relazione riassume brevemente le indagini sviluppate, le metodologie applicate ed i risultati dello studio idrologico svolto per la determinazione delle portate di progetto e per il dimensionamento delle opere di drenaggio della piattaforma ferroviaria e delle interferenze con i corsi d'acqua relativi al progetto del raddoppio della linea Caserta Foggia: tratta Bovino – Orsara.

Le portate stimate sono quelle massime al colmo di piena riferite a periodi di ritorno di 100 e 200 anni, calcolate per ognuna delle intersezioni tra il reticolo idrografico e il tracciato ferroviario. Le intersezioni sono individuate dai tombini, dai ponticelli e dai ponti rilevati su cartografia di progetto.

L'analisi effettuata ha seguito le seguenti fasi:

reperimento della cartografia di base relativa ai bacini idrografici sottesi a scale variabili da 1:2.000, 1:25.000 a 1:100.000 a seconda del dettaglio necessario volta per volta;

interpretazione della cartografia e reperimento di ulteriori informazioni mediante l'acquisizione di specifici studi sull'idrologia e sull'idrografia della zona;

perimetrazione dei bacini idrografici e studio delle loro caratteristiche fisiografiche;

raccolta ed analisi preliminare dei dati pluviometrici ed idrometrici;

analisi statistica delle piogge intense e determinazione della curva di possibilità pluviometrica rappresentative per i bacini principali;

valutazione della piena media annua;

applicazione delle risultanze della stima regionale della distribuzione TCEV per la valutazione delle piene corrispondenti ai periodi di ritorno fissati.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO-ORSARA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IF1W	LOTTO 00 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

3 INQUADRAMENTO DELL'AREA

3.1 MORFOLOGIA

La morfologia dell'area è caratterizzata dall'assenza di montagne; sullo spartiacque appenninico si raggiungono appena i 1000 m di quota ed il paesaggio assume generalmente forme dolci. Solo il 10 % del bacino ha quota superiore ai 700 m s. m., il restante 90% si divide tra colline e zone pianeggianti.

La linea in progetto si sviluppa per la totalità del tracciato all'interno del bacino del torrente Cervaro nell'area del Tavoliere, dove una non elevata permeabilità delle zone montane consente la formazione di diversi corsi d'acqua. Il corso principale del torrente si sviluppa inizialmente con direzione nord – ovest, poi prosegue verso N-E.

Il versante destro si presenta più esteso e solcato dagli affluenti principali. Il regime è spiccatamente torrentizio, caratterizzato da prolungate 'secche' estive e da piene autunno – invernali che sovente hanno determinato esondazioni.

La rete idrografica si presenta in prevalente erosione nella parte montana del bacino e con andamento meandrizzante nella parte valliva.

I terreni attraversati caratterizzano il carico torbido durante le piene che spesso risulta elevato, come si evince dai fenomeni di alluvionamento verificatesi in passato.

3.2 I BACINI DI INTERESSE

Tramite l'analisi morfologica del modello digitale del terreno sono stati individuati i bacini di interesse, rappresentati nella Figura 3. **L'origine riferimento non è stata trovata.** e le cui caratteristiche sono riportate in Tabella 1.

Tabella 1 – Caratteristiche Morfologiche dei bacini

Caratteristiche Morfologiche dei Bacini								
Prog.*	Id. Bacino	Area (km ²)	Quota media (m.s.m.m)	Quota min (m.s.m.m)	Quota max (m.s.m.m)	Pendenza media (%)	Distanza spartiacque (km)	Tempo di ritardo (h)
0+450	B1 - Acquara	4.8	647.7	367.5	805.6	29.7%	4.5	0.75
0+300	B2 - Superficie scolante	0.4	446.7	358.3	541.8	20.4%	1.5	0.61
0+000	B3 - Superficie scolante	0.1	363.6	349.2	397.3	29.3%	0.8	0.40
30+669	B4 - Superficie scolante	0.2	243.9	243.2	244.6	2.2%	0.5	0.49
30+342	B5 - Corso d'acqua	0.7	265.3	244.7	288.7	9.3%	2.5	0.29
29+188	B6 - Cantalanotte	7.5	338.4	235.7	549.3	12.6%	5.9	0.94

* le progressive dei bacini B1-B2-B3 si riferiscono alle progressive del baffo della prima fase

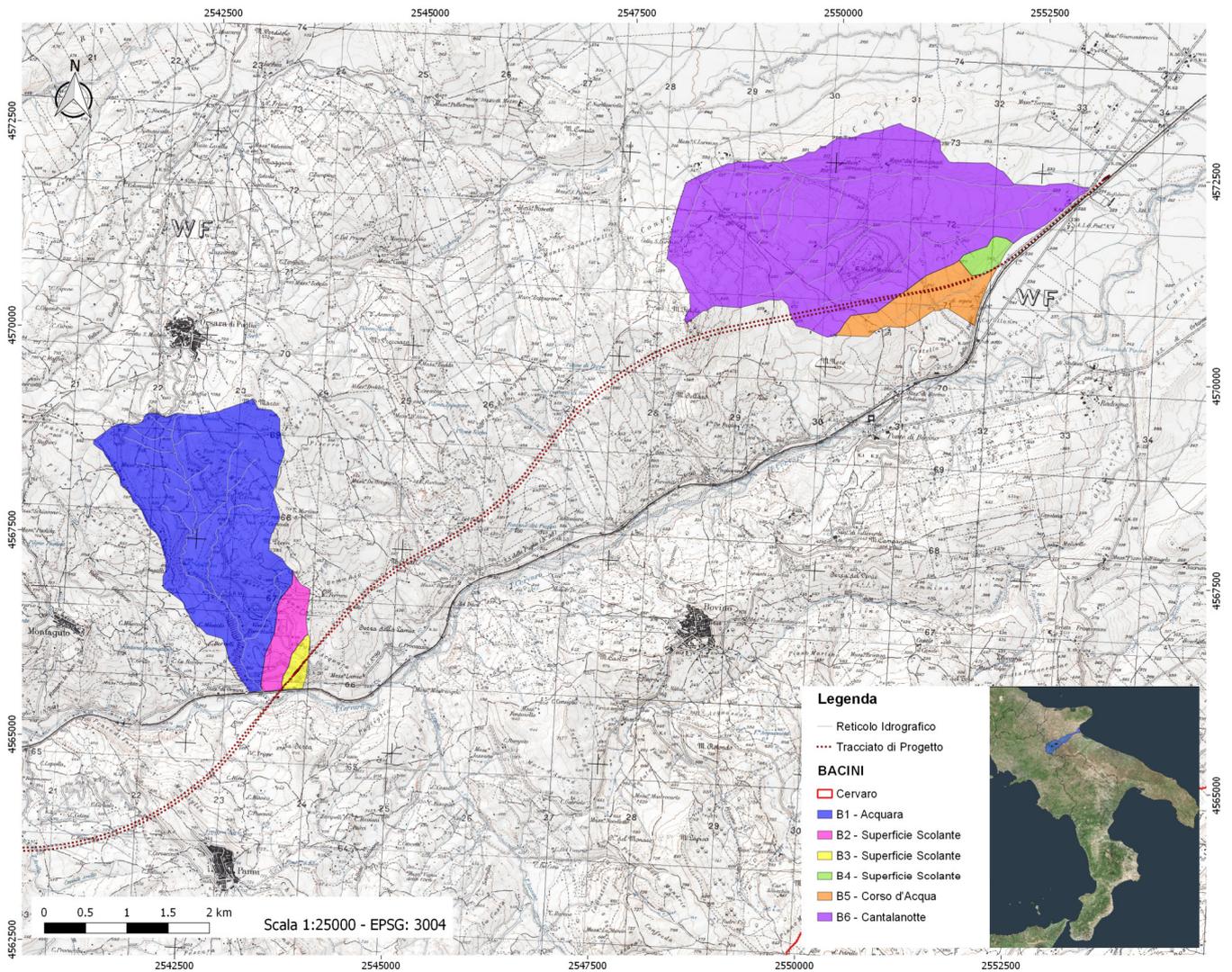


Figura 3 – Corografia bacini di interesse

3.3 LINEAMENTI GEO-LITOLOGICI

Nell'area interessata dal progetto la permeabilità non eccessivamente alta, come per gran parte del territorio pugliese, consente la formazione di corsi d'acqua caratterizzati da un regime spiccatamente torrentizio.

In particolare il T. Cervaro, inciso per brevi tratti nelle unità stratigrafiche che contraddistinguono il bordo orientale della catena appenninica, si sviluppa prevalentemente nell'area idrogeologica del Tavoliere e dopo un percorso di circa 80 km versa nel mare Adriatico.

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO-ORSARA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDROLOGICA					
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	
IF1W	00 D 29	RI	ID0001 001	A	10 di 36	

I litotipi più diffusi nella zona alte del bacino sono costituiti da argille ed argille marnose con intercalazioni di calcari marnosi. Nella media valle, bacini del Lavella e dello Iazzano, sono presenti formazioni pleistoceniche, argillo-sabbiose. Nel fondo valle sono presenti terreni incoerenti a granulometria da media a fine.

La distribuzione delle formazioni ha consentito di fissare i caratteri di permeabilità del territorio in esame, in particolare sono state individuate tre tipologie di formazioni dal comportamento omogeneo e, quindi, tre classi di permeabilità: alta, media e bassa.

3.4 CLIMA

La Puglia è caratterizzata da un clima tipicamente mediterraneo, con inverno mite e poco piovoso alternato da una stagione estiva calda e secca; la regione può essere considerata tra le aree a clima marittimo temperato.

L'Appennino offre alla regione un certo riparo dai venti occidentali, mentre essa rimane esposta alle correnti atmosferiche provenienti dall'adriatico e da sud; ciò le conferisce una minore piovosità rispetto alle regioni del versante tirrenico.

Nei mesi estivi è pronunciata la siccità del clima a causa delle masse d'aria calda e secca di origine tropicale. I mesi autunnali e quelli invernali presentano frequente nuvolosità e piogge copiose determinate dai venti sciroccali, intervallati da periodi sereni ma piuttosto freddi provocati dai venti secchi da nord. In primavera le correnti provenienti dall'Africa apportano temperature elevate ed aria secca.

Nell'area interessata dal progetto il mese più freddo è, generalmente, quello di gennaio con temperature intorno ai 6°. Il mese più caldo è luglio, caratterizzato da temperature intorno ai 25° che però facilmente raggiungono punte di 40°.

Nelle aree del Sub – Appennino la precipitazione annua raggiunge i 1000 mm, riducendosi a valori prossimi ai 700 mm nella fascia costiera.

Le precipitazioni, concentrate per oltre il 60% nel periodo autunno-inverno, presentano un massimo nei mesi di novembre – dicembre ed un minimo nel mese di luglio.

Elevata risulta la variabilità delle precipitazioni da un anno all'altro con valori che storicamente si sono triplicati dall'anno più siccitoso a quello più piovoso.

3.5 PERICOLOSITÀ IDRAULICA

Il PAI dell'autorità di bacino della puglia individua quali aree a pericolosità idraulica le porzioni di territorio caratterizzate non solo sulla probabilità dell'evento di piena straordinario (pericolosità assoluta), ma anche sull'entità delle grandezze idrodinamiche in gioco (pericolosità relativa), onde evitare la sovrastima sistematica di fenomeni in realtà poco pericolosi. I tempi di ritorno della piena di riferimento pari a 30, 200 e 500 anni, mentre I

valori dei tiranti idrici e della velocità utilizzati sono quelli massimi che si possono realizzare nell'area durante l'evoluzione della piena.

Come si evince dalla Figura 4 le aree dei bacini di interesse (in giallo) non ricadono un zone di pericolosità idraulica.

Tabella 2- Definizione della pericolosità idraulica in funzione della pericolosità relativa e del tempo di ritorno

Pericolosità relativa	Pericolosità	
	Alta	Bassa
Tempo di ritorno		
30	AP – Alta Pericolosità	MP – Media Pericolosità
200	MP – Media Pericolosità	BP – Bassa Pericolosità
500	BP – Bassa Pericolosità	

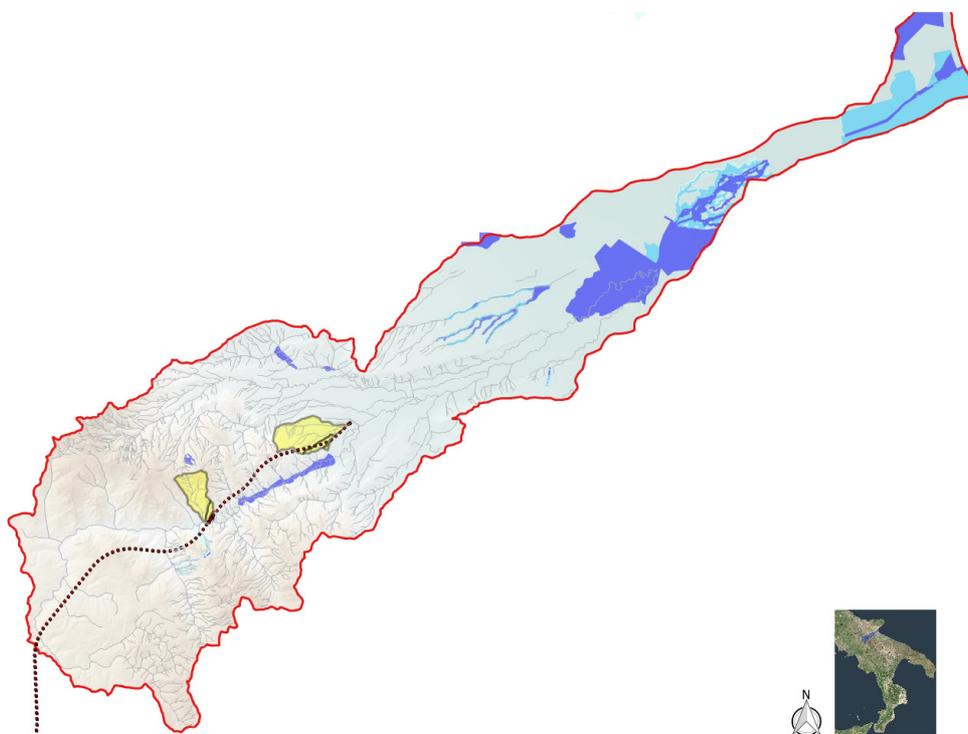


Figura 4 – Aree a pericolosità idraulica ricadenti nel bacino del fiume Cervaro. In giallo i bacini di interesse ed in tratteggiato la linea in progetto.

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO-ORSARA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDROLOGICA					
COMMESSA IF1W	LOTTO 00 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A	FOGLIO 12 di 36	

3.6 PRECEDENTI STUDI IDROLOGICI SULL'AREA DI INTERESSE

Verranno citati due studi sui quali ci si è basati per le valutazioni qui presentate:

lo studio del GNDCI relativo all'analisi regionale delle piene in Puglia (Copertino e al., 1994);

uno studio di dettaglio sull'area territoriale di interesse (Italferr, 2001).

Il peso assunto dagli studi precedenti sulle valutazioni qui effettuate è ripartito su diversi aspetti dell'analisi idrologica. In particolare, le analisi storiche, sviluppati da Merenda e Sdao, hanno consentito di collocare in maniera corretta le caratteristiche dei rischi idrologici nell'area in esame in confronto a quelli relativi ad altre aree della Puglia, soprattutto nell'insieme dei fenomeni meteorologici, morfo-idrologici e geologici.

Dall'esame dell'analisi delle inondazioni avvenute in Puglia, nei sessantacinque anni compresi tra il 1921 ed il 1985 si rileva, infatti, un quadro complessivo delle zone maggiormente a rischio per la concomitanza di effetti dovuti all'esposizione ed alle pendenze e dimensioni dei bacini idrografici. Per quanto si evince dai citati studi, la zona in esame non si presenta tra quelle particolarmente critiche nei confronti del rischio di alluvione in senso stretto, pur presentando una certa esposizione al rischio idrogeologico in generale.

Mentre si avrà occasione di citare ampiamente più avanti il volume Valutazione delle piene in Puglia (Copertino et al., 1994), va precisato qui che lo studio idrologico dell'Italferr (2001) contiene un ampio inquadramento delle caratteristiche geologiche, di uso del suolo e territoriali della zona in esame. Nello stesso studio vengono riportate valutazioni sulle massime portate al colmo di piena in alcune sezioni, sulle quali ci si soffermerà in fase di commento dei risultati qui ottenuti.

4 **MODELLI PROBABILISTICI PER L'ANALISI STATISTICA REGIONALE DELLE PIOGGE E DELLE PIENE**

In questo capitolo vengono esposti i richiami fondamentali teorici relativamente all'analisi probabilistica degli estremi idrologici. Vengono descritte brevemente le due leggi teoriche più importanti (Gumbel e TCEV) con indicazioni sulle modalità di stima dei parametri.

4.1 **IL MODELLO PROBABILISTICO DI GUMBEL**

L'espressione della probabilità cumulata della legge di Gumbel è

$$F(x) = \exp(-\exp(\alpha(x-\varepsilon)))$$

con α ed ε parametri della distribuzione, che vengono, di norma, stimati attraverso il metodo dei momenti:

$$\alpha = \frac{\pi}{\sigma\sqrt{6}} = \frac{1.283}{\sigma}$$

$$\varepsilon = \mu - 0.450 \sigma$$

dove μ e σ sono rispettivamente la media e lo scarto quadratico medio dei dati.

Un diverso metodo di stima dei parametri è basato sulla massimizzazione della funzione di verosimiglianza della distribuzione (metodo della massima verosimiglianza). Le differenze tra i due metodi si apprezzano in particolare quando il grado di adattamento della distribuzione ai dati è basso. Infatti, il metodo dei momenti tende a privilegiare i valori di entità più elevata, che hanno forte influenza in particolare sul momento del secondo ordine. Il metodo della massima verosimiglianza fornisce invece una curva che rispetta maggiormente i pesi rappresentati dalle frequenze cumulate, per cui non si lascia influenzare molto da singoli valori molto elevati.

Per riportare opportunamente i valori di x corrispondenti ad una fissata probabilità F (o periodo di ritorno T) si può invertire la legge $F(x)$ ottenendo

$$x_T = \varepsilon \left\{ 1 - (\alpha\varepsilon)^{-1} \ln \ln \left[\frac{T}{T-1} \right] \right\}$$

in quanto vale $T=1/(1-F)$.

Stimando i parametri con il metodo dei momenti è possibile esprimere direttamente x_T in funzione di media e scarto, attraverso l'espressione:

$$x_T = \mu \left\{ 1 - C_{v_x} \left[0.45 + \frac{\sqrt{6}}{\pi} \ln \ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\}$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO-ORSARA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IF1W	LOTTO 00 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

dove C_{vx} rappresenta il coefficiente di variazione dei dati.

L'espressione della legge di Gumbel può essere quindi rappresentata attraverso il prodotto della media per una quantità che rappresenta la crescita della media stessa in funzione del periodo di ritorno, quantità che è chiamata fattore di crescita con il periodo di ritorno (KT), e che consente di rappresentare la relazione di frequenza delle precipitazioni secondo il prodotto:

$$x_T = \mu KT$$

Questa rappresentazione risulta particolarmente utile nella determinazione su base regionale delle leggi di frequenza, in quanto molto spesso KT risulta essere costante in ampie regioni.

4.2 IL MODELLO PROBABILISTICO TCEV

Il modello a doppia componente denominato TCEV (Rossi et al., 1984) ipotizza che i massimi annuali delle portate al colmo di piena non provengano tutti dalla stessa popolazione ma da due popolazioni distinte legate a differenti fenomeni meteorologici. Tale ipotesi è peraltro giustificata dalla presenza in quasi tutte le serie storiche delle portate al colmo di uno o più valori (outliers) nettamente maggiori degli altri al punto da sembrare non provenienti dalla stessa popolazione dei rimanenti dati (v.: Penta et al., 1978, Penta et al., 1980).

La funzione di probabilità cumulata (CDF dall'acronimo inglese Cumulative Distribution Function) del modello TCEV può essere espressa nella forma:

$$F_X(x) = \exp\left\{-\Lambda_1 \exp\left(-\frac{x}{\Theta_1}\right) - \Lambda_2 \exp\left(-\frac{x}{\Theta_2}\right)\right\} \quad x \geq 0$$

La funzione ha quattro parametri, Λ_1 , Θ_1 , Λ_2 e Θ_2 . I parametri contraddistinti dal pedice 1 sono relativi agli eventi più frequenti (componente base) mentre quelli con pedice 2 si riferiscono ad eventi più gravosi e rari (componente straordinaria). Ognuna delle due componenti è, a tutti gli effetti, una legge di Gumbel.

I parametri Λ_1 e Λ_2 esprimono, rispettivamente per le due componenti, il numero medio annuo di eventi indipendenti superiori ad una soglia. I parametri Θ_1 e Θ_2 esprimono invece la media di tali eventi.

Spesso è utile fare riferimento, anziché alla X , alla variabile standardizzata

$$Y = \frac{X}{\Theta_1} - \ln \Lambda_1$$

caratterizzata dalla CDF:

$$F_Y(y) = \exp\left\{-\exp(-y) - \Lambda_* \exp\left(-\frac{y}{\Theta_*}\right)\right\}$$

nella quale risulta

$$\Theta^* = \Theta_2 / \Theta_1 \text{ e}$$

$$\Lambda^* = \Lambda_2 / \Lambda_1 / \Theta$$

L'espressione completa della CDF della TCEV può essere ulteriormente semplificata facendo riferimento alla

variabile adimensionale $X' = \frac{X}{\bar{X}}$ dove con \bar{X} si è indicato il valore indice (la media della variabile). La CDF di questa nuova variabile X' è la cosiddetta curva di crescita la quale dipende dai parametri Λ^* , Θ^* , Λ_1 e Θ_1 , l'ultimo dei quali è rappresentabile analiticamente in funzione della media.

Tale curva risulta avere validità nell'ambito di sottozone omogenee, per cui rappresenta uno strumento di uso particolarmente comodo. Infatti, nell'ambito delle suddette sottozone, è sufficiente determinare la media della variabile (\bar{X}) per avere, a partire dalla $FX'(x')$, la distribuzione di probabilità finale

$$FX(x) = \bar{X} FX'(x')$$

4.3 APPROCCIO GERARCHICO ALLA STIMA REGIONALE DEI PARAMETRI

Si sono già evidenziate le relazioni che intercorrono tra momenti teorici e parametri della distribuzione TCEV. Su queste relazioni si basa la strutturazione regionale della stima dei parametri del modello TCEV, in particolare con riferimento ai momenti del secondo e del terzo ordine.

Va innanzitutto detto che mediante l'espressione dei momenti teorici del modello TCEV, si dimostra che il coefficiente di variazione teorico dipende da Λ^* , Θ^* e Λ_1 ed è quindi indipendente da Θ_1 , mentre il coefficiente di asimmetria teorico dipende da Λ^* e Θ^* ed è quindi indipendente da Λ_1 e Θ_1 .

La stima su base regionale di parametri dipendenti da momenti di ordine elevato si rende necessaria in quanto i coefficienti di asimmetria e di variazione campionari, espressi rispettivamente dalle relazioni:

$$C_A = \sqrt{N} \cdot \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3}{\left[\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \right]^{3/2}} \quad C_V = \frac{N}{\sqrt{N-1}} \cdot \frac{\left[\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \right]^{3/2}}{\sum_{i=1}^N x_i}$$

stimati dalle serie storiche dei massimi annuali delle portate istantanee, o delle piogge di fissata durata, presentano una variabilità spaziale che nell'ambito di vaste aree non è superiore alla variabilità campionaria. In altri termini, presentano variabilità campionaria molto elevata, ma bassa variabilità spaziale.

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO-ORSARA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDROLOGICA					
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	
IF1W	00 D 29	RI	ID0001 001	A	16 di 36	

Ciò consente di ipotizzare l'esistenza di regioni nelle quali si può ammettere che i valori teorici di tali momenti siano costanti. Per le relazioni di cui si è detto in precedenza si ha come conseguenza la costanza dei parametri del modello TCEV direttamente legati ai suddetti momenti campionari.

La procedura di regionalizzazione adottata nello studio regionale è di tipo gerarchico strutturata su tre livelli:

I° Livello di regionalizzazione:

Si assume che il coefficiente di asimmetria CA sia costante in una regione molto ampia (l'intera Italia Appenninica ed insulare ad eccezione della Sardegna). Ciò implica, per quanto detto in precedenza, la costanza dei parametri Λ^* e Θ^* del modello TCEV nella medesima zona.

Inoltre in una regione omogenea rispetto a Λ^* e Θ^* , risulta unica la CDF della variabile standardizzata Y, in quanto essa dipende soltanto dai due suddetti parametri del modello. In assenza di dati sufficienti a mettere in discussione localmente la validità di questa assunzione, si pone che ovunque Λ^* e Θ^* assumano i valori calcolati nell'ambito della zona unica.

II° Livello di regionalizzazione

Al secondo livello di regionalizzazione si assume che la regione omogenea rispetto a Λ^* e Θ^* possa suddividersi in sottozona in cui il coefficiente di variazione CV risulti costante, nel senso che vari con piccoli scarti di disturbo spaziale intorno a valori medi differenti da una zona all'altra.

Per il modello TCEV questo si traduce nella costanza del parametro Λ_1 , nella sottozona omogenea, oltre che di Λ^* e Θ^* . Il valore di Λ_1 relativo alla sottozona va stimato utilizzando tutti i dati disponibili nella zona.

Se si individua una sottozona omogenea rispetto a Λ_1 la variabile $X' = X/\bar{X}$ risulta identicamente distribuita, si ha cioè una curva di crescita unica per l'intera sottozona.

III° Livello di regionalizzazione

Il terzo livello di regionalizzazione consiste nell'individuazione di aree omogenee nelle quali sia possibile determinare le relazioni che legano la media \bar{X} (valore indice) alle caratteristiche fisiche di interesse. Infatti la variabilità della pioggia (o della piena) indice \bar{X} con le caratteristiche morfologiche (es. quota) e climatiche è tale che l'ipotesi basata sulla ricerca di aree con \bar{X} costante è applicabile solo per le piogge e spesso non è verificata.

5 ANALISI REGIONALE DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE

5.1 DATI UTILIZZATI

Al fine di procedere alle valutazioni statistiche sulle precipitazioni intense nella zona in esame sono state prese in considerazione le serie storiche di 10 stazioni pluviografiche. Nella tabella che segue si riportano le denominazioni e le caratteristiche principali di dette stazioni.

L'analisi di questi ultimi è resa necessaria dal fatto che le durate critiche per gli eventi di piena della maggior parte dei bacini considerati sono inferiori all'ora. Peraltro, mentre nel volume Valutazione delle Piene in Puglia è stata condotta l'analisi statistica delle piogge orarie, in esso manca uno studio specifico per eventi di durata inferiore all'ora. Questi ultimi eventi sono riportati dal Servizio Idrografico in modo non sistematico e non vi è certezza sul fatto che i valori riportati siano effettivamente i massimi per quella durata osservati nell'anno considerato (prova ne è il fatto che spesso si trovano due valori per una stessa durata). Su di essi si è quindi resa necessaria una fase di validazione, tesa ad eliminare valori chiaramente non congruenti, quali quelli per i quali risulta intensità media inferiore a quella corrispondente ad un dato di durata doppia. Nelle tabelle allegate in appendice si riporta traccia di questa fase di pre-analisi nella quale sono stati eliminati numerosi dati. Nella tabella sintetica che segue è anche menzionata la posizione della stazione (interna o esterna al limite di bacino principale).

Stazioni pluviometriche utilizzate					Numero dati		Quota
Cod.	cod. SII	Stazione	Posiz.	Bacino	< 1 h	> 1 h	(m s.m.m.)
1	3941	Foggia	Esterna	Candelaro	21	270	74
2	3956	Castel dei Sauri	Interna	Cervaro	21	188	284
3	3942	Foggia Ist. Agr.	esterna	Candelaro	8	83	74
4	3955	Bovino	Interna	Cervaro	24	272	646
5	3953	Orsara di Puglia	Interna	Cervaro	18	136	650
6	3939	Troia	Esterna	Candelaro	21	166	439
7	3938	Faeto	Interna	Sannoro	17	150	905
8	3951	Savignano I.	Interna	Cervaro	12	149	718
9	3952	Monteleone P.	Interna	Cervaro	22	238	847
10	3958	S. Agata di P.	Interna	Cervaro	15	93	791

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO-ORSARA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDROLOGICA					
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	
IF1W	00 D 29	RI	ID0001 001	A	18 di 36	

5.2 ANALISI PRELIMINARE DEI DATI DI PIOVOSITÀ

La fase preliminare di analisi delle serie storiche dei massimi di precipitazione ha il duplice obiettivo di consentire l'individuazione di dati anomali, specie con riferimento ai valori estremi e per le stazioni di maggiore interesse, e di selezionare le stazioni guida per i sottobacini interessati da questa analisi. La prima parte di questa fase è stata appoggiata alla rappresentazione, in carta di Gumbel, dei dati per le diverse durate ed all'esame delle curve così ottenute.

Successivamente sono state valutate le leggi altezza di pioggia - durata con legge di potenza a due parametri, per tutte le stazioni, onde valutare l'andamento dei parametri con la quota e determinare le stazioni guida per le analisi successive.

Non si sono apprezzate significative correlazioni tra la quota ed i parametri delle curve di probabilità pluviometriche così come rappresentate in legge di potenza.

Altri parametri che posti a confronto con la quota sono: il valore del coefficiente a e dell'esponente n della curva di probabilità pluviometrica, il valor medio dei massimi a 5 minuti ed il rapporto tra le medie in 1 ora ed in 5 minuti. In tutti i casi si è molto lontani dall'individuare una qualche possibile relazione tra parametri e quota.

Il motivo per cui questa analisi è stata ripetuta, pur essendone stata fatta una analoga nel volume Valutazione delle piene in Puglia, è che in quel caso l'obiettivo era quello di mappare una legge di probabilità pluviometrica in tutta la regione, per cui non si è prestata particolare attenzione ad una zona od all'altra, mentre nel caso in questione ci sono situazioni specifiche da valutare per il bacino del Cervaro. Il rischio che si corre in questi casi assumendo i valori presi dall'analisi regionale è quello di non focalizzare i fenomeni pluviometrici tipici di aree vicine ma diverse. Inoltre, in questo caso si aveva la necessità di riscontrare il funzionamento delle curve di probabilità pluviometriche estese alle durate inferiori all'ora, cosa che manca nello studio del GNDICI.

Osservando il valore dei parametri per zone geografiche, è stato quindi possibile stabilire che le stazioni di Bovino sono rappresentative delle zone in cui sono localizzate, nel senso che le loro curve di probabilità pluviometrica, ripercorrono l'andamento di quelle delle altre stazioni limitrofe, e sono anche quelle più gravose, tali che il loro uso va senza dubbio a vantaggio di sicurezza.

5.3 CURVE REGIONALI DI CRESCITA DELLE PRECIPITAZIONI

L'analisi probabilistica delle precipitazioni intense riveste particolare importanza per il dimensionamento delle strutture drenanti di piattaforma mentre, come si vedrà in dettaglio più avanti, nel calcolo delle massime portate di piena per il dimensionamento degli attraversamenti si fa riferimento all'analisi regionale delle piene.

La stima delle precipitazioni per fissata durata in corrispondenza di un dato tempo di ritorno avviene tramite il calcolo dei valori della media dei massimi delle precipitazioni stesse \bar{x}_t relative ad una generica durata t , e la successiva amplificazione delle stesse attraverso il fattore di crescita (della media con il periodo di ritorno) K_T

$$h_{t,T} = \bar{x}_t K_T$$

Nel paragrafo successivo si approfondiranno i metodi ed i problemi di stima dei parametri relativi al calcolo della media. Per quanto riguarda le curve di crescita, queste hanno carattere regionale e sono valutate con tecniche statistiche sofisticate, usando serie storiche relative a stazioni poste in un intorno molto ampio rispetto alla zona di interesse.

Nello studio di Copertino et al. (1994), è stata individuata per l'area in esame un'unica zona pluviometrica per la quale sono stati forniti i parametri della distribuzione.

La curva di crescita assume pertanto l'espressione:

$$K_T = 0.5648 + 0.415 \ln(T)$$

In questa relazione, i valori di $K_T = x / \mu$ corrispondenti ai periodi di ritorno di 20, 50, 100, 200 e 500 anni sono rispettivamente:

$$T=20 \rightarrow K_T = 1.81$$

$$T=50 \rightarrow K_T = 2.19$$

$$T=100 \rightarrow K_T = 2.48$$

$$T=200 \rightarrow K_T = 2.77$$

$$T=500 \rightarrow K_T = 3.15$$

3.3 Le curve di probabilità pluviometrica

La rappresentazione di x_T secondo il modello probabilistico scelto (Gumbel o TCEV) si ritiene valida per massimi annui di pioggia in un qualsiasi intervallo di durata inferiore al giorno, considerando che la modalità di 'crescita' del valore indice non cambia con la durata delle precipitazioni. Pertanto, la massima pioggia di generica durata corrispondente ad un periodo di ritorno T , sintetizzata nell'espressione:

$$h_{t,T} = \mu t K_T$$

rappresenta la famiglia di curve di probabilità pluviometrica.

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO-ORSARA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDROLOGICA					
COMMESSA IF1W	LOTTO 00 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A	FOGLIO 20 di 36	

Nel paragrafo seguente si tratterà della rappresentazione e stima della relazione altezza di pioggia-durata per le precipitazioni estreme annue (o, che è lo stesso, della relazione intensità-durata), con riferimento ai valori medi della grandezza.

5.4 LA RELAZIONE INTENSITÀ-DURATA DELLE PRECIPITAZIONI

La legge di dipendenza della media dei massimi di precipitazione con la durata può esprimersi, nel caso più semplice, come:

$$\mu_t = a t^n$$

con i coefficienti a ed n da stimarsi tramite un modello di regressione sui dati disponibili, sugli Annali Idrologici, per le durate 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

Trattandosi di una legge di potenza, a ed n possono essere stimati tramite regressione lineare sui logaritmi di μ e t .

Poiché gran parte dei bacini considerati in questa analisi sono di dimensioni molto ridotte, risulta necessario focalizzare l'attenzione sulla parte della legge di probabilità pluviometrica che interessa le durate inferiori all'ora.

Esiste una letteratura specifica sulla derivazione di leggi intensità-durata valide per durate molto brevi (v. es. Hall, 1984). In Italia ci si trova però spesso in grande difficoltà nella fase di stima dei parametri, in quanto mancano dati sistematici relativi ai massimi annuali di durata inferiore all'ora, per l'uso tali relazioni diventa spesso inutile se non si dispone di dati attendibili relativi ai massimi di durata inferiore all'ora (v. es. Modica e Rossi, 1988).

Nella situazione qui esaminata esistono dati inferiori l'ora per gran parte delle stazioni considerate anche se per un numero di anni di osservazione estremamente ridotto.

5.5 CALCOLO DELLE CURVE DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICHE DEI BACINI DI INTERESSE

Il territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia è stato suddiviso in 6 aree pluviometriche omogenee, per ognuna delle quali è possibile calcolare la Curva di Possibilità Pluviometrica sulla base delle seguenti equazioni:

- Zona 1: $x(t,z) = 26.8 t^{[(0.720+0.00503 z)/3.178]}$
- Zona 2: $x(t) = 22.23 t^{0.247}$
- Zona 3: $x(t,z) = 25.325 t^{[(0.0696+0.00531 z)/3.178]}$
- Zona 4: $x(t) = 24.70 t^{0.256}$
- Zona 5: $x(t,z) = 28.2 t^{[(0.628+0.0002 z)/3.178]}$
- Zona 6: $x(t,z) = 33.7 t^{[(0.488+0.0022 z)/3.178]}$

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 29	RI	ID0001 001	A	21 di 36

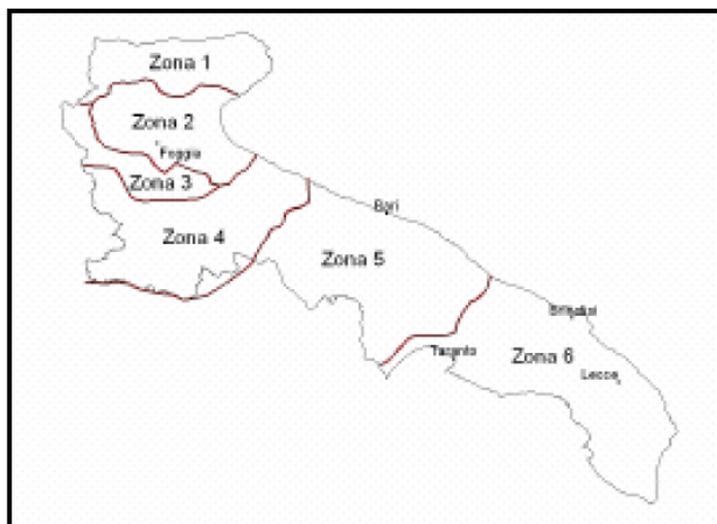


Figura 5 - Sottozone pluviometriche omogenee

Tabella 3 – Parametri idrologici per le varie sottozone omogenee

Prog.*	id	Sottozona Omogenea	Parametri c.p.p.		Medie massime annuali	
			a (mm/h)	n	$m[h(t_p, z)]$ (mm)	$m[I(t_p)]$ (mm/h)
0+450	B1 - Acquara	4	24.70	0.256	23.0	30.6
0+300	B2 - Superficie scolante		24.70	0.256	21.7	35.9
0+000	B3 - Superficie scolante		24.70	0.256	19.6	48.7
30+669	B4 - Superficie scolante	3	25.33	0.587	16.7	33.9
30+342	B5 - Corso d'acqua		25.33	0.587	12.3	42.0
29+188	B6 - Cantalanotte		25.33	0.587	24.5	26.0

Tabella 4 – Altezze di pioggia al variare del tempo di ritorno

Prog.*	id	Altezze di pioggia al variare del tempo di ritorno							
		$h_{ T_r=2}$ [mm]	$h_{ T_r=5}$ [mm]	$h_{ T_r=10}$ [mm]	$h_{ T_r=20}$ [mm]	$h_{ T_r=50}$ [mm]	$h_{ T_r=100}$ [mm]	$h_{ T_r=200}$ [mm]	$h_{ T_r=500}$ [mm]
0+450	B1 - Acquara	20.9	28.9	35.1	41.5	50.3	56.9	63.6	72.3
0+300	B2 - Superficie scolante	19.8	27.4	33.2	39.3	47.6	53.9	60.2	68.4
0+000	B3 - Superficie scolante	17.8	24.6	29.9	35.4	42.8	48.5	54.2	61.6
30+669	B4 - Superficie scolante	15.2	21.1	25.6	30.3	36.6	41.5	46.3	52.7
30+342	B5 - Corso d'acqua	11.2	15.5	18.9	22.3	27.0	30.6	34.2	38.9
29+188	B6 - Cantalanotte	22.3	30.8	37.4	44.3	53.5	60.6	67.7	77.0

Ai valori così ottenuti, vanno applicati coefficienti moltiplicativi relativamente al Fattore di Crescita K_T , già esposto nel precedente paragrafo.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO-ORSARA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IF1W	LOTTO 00 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

6 ANALISI STATISTICA REGIONALE DELLE PIENE

6.1 CURVE REGIONALI DI CRESCITA DELLE PIENE

Come detto in precedenza, la stima delle portate di piena per fissato tempo di ritorno avviene tramite il calcolo dei valori della media delle piene e la successiva amplificazione delle stesse nella logica della formula

$$x_T = \mu K_T$$

Nel paragrafo successivo si approfondiranno i metodi ed i problemi di stima dei parametri relativi al calcolo della media.

Per quanto riguarda le curve di crescita, che hanno carattere regionale e che sono valutate con tecniche statistiche sofisticate usando un numero notevole di serie storiche, non vi è ragione di non applicare la metodologia proposta da Copertino et al. (2001). Nel caso specifico, gli autori hanno identificato un'unica zona 'idrometrica' omogenea, nelle quale i parametri di ordine elevato dalla TCEV sono costanti.

Pertanto, la scelta che viene qui effettuata è quella di attribuire al bacino del Cervaro, in base alle informazioni effettivamente disponibili nel volume Valutazione delle piene in Puglia, la curva di crescita caratterizzata dall'espressione:

$$K_T = -0.4007 + 0.904 \ln T$$

In questa relazione, i valori di $K_T = x/\mu$ corrispondenti ai periodi di ritorno di 20, 50, 100, 200 e 500 anni sono rispettivamente:

$$T=20 \rightarrow K_T = 2.37$$

$$T=50 \rightarrow K_T = 3.15$$

$$T=100 \rightarrow K_T = 3.76$$

$$T=200 \rightarrow K_T = 4.39$$

$$T=500 \rightarrow K_T = 5.22$$

3.4 Stima della piena media con la formula razionale

La formula razionale, in uso da oltre un secolo per valutazioni prima deterministiche ed oggi statistiche relative alle massime portate al picco di piena, è espressa nella sua accezione più attuale (v. es Villani, 1990, Rossi e Villani, 1995) come:

$$Q = \frac{C * I_r * S}{3.6}$$

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO-ORSARA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDROLOGICA					
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	
IF1W	00 D 29	RI	ID0001 001	A	23 di 36	

in cui:

- Q : è la portata al colmo (in m³/s),
- S : è l'area del bacino (in Km²),
- I_{tr} : è l'intensità media di precipitazione in una durata pari al tempo di ritardo t_r (in mm/ora),
- C^* : è detto coefficiente statistico di piena.

Quest'ultimo coefficiente rappresenta il prodotto del coefficiente di deflusso in piena C_r , che definisce l'area del bacino che contribuisce effettivamente alla portata, e della cosiddetta funzione di picco C_p , che porta in conto il fatto che nell'ambito di una precipitazione di durata pari al tempo di ritardo, solo parte dell'IUH (idrogramma unitario istantaneo) può contribuire alla determinazione della relazione tra picco e volume della piena. C_p risulta essere pertanto un fattore di attenuazione, che dà conto, tutto sommato, dei fenomeni di invaso nella rete idrografica.

In questa formulazione, che risulta essere una evoluzione di quella originariamente espressa da Mulvaney nel secolo scorso, il tempo "critico" è quello di ritardo, pari alla distanza dall'origine del baricentro della curva che definisce la risposta impulsiva del bacino (IUH).

I parametri da determinare per l'applicazione del metodo sono quindi, in aggiunta alla curva di probabilità pluviometrica $h_{i,T}$, necessaria a fornire il dato di intensità media per la durata desiderata:

- il tempo di ritardo del bacino
- il coefficiente statistico di piena

La pluviometria rappresenta il fattore che comporta maggiore precisione per il fatto che la densità di stazioni sul territorio è elevata e, di solito, si può contare su una buona precisione delle misure pluviometriche. Incertezze molto maggiori accompagnano le valutazioni sul tempo di ritardo del bacino e sul coefficiente statistico di piena, che vanno derivati per via indiretta. Nei paragrafi che seguono si esaminano le tecniche per la loro determinazione ed i problemi da risolvere per la riduzione del grado di incertezza nella stima.

6.2 IL TEMPO DI RITARDO

Esistono in letteratura numerose formule empiriche (v. es. Watt e Chow, 1985) per la determinazione sia del tempo di corrivazione del bacino (che corrisponde al tempo di base dell'IUH) che per la stima della distanza dall'origine del baricentro dell'IUH (tempo di ritardo). Nel secondo caso, le formule empiriche puntano alla ricostruzione del tempo che separa il baricentro dello ietogramma dal baricentro dell'idrogramma. Gran parte delle formule empiriche hanno base fisica, nel senso che quasi sempre sono ottenute per composizione di parametri quali la lunghezza dell'asta principale (o dall'area) e la sua pendenza media (o da caratteristiche altimetriche del bacino).

L'applicazione delle formule empiriche deve sempre avvenire conformemente all'uso che ne è stato fatto nella loro determinazione, il che comporta una certa attenzione anche alla reale definizione di tempo di ritardo adottato ed alla formula finale utilizzata per la determinazione del picco di piena.

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO-ORSARA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDROLOGICA					
COMMESSA IF1W	LOTTO 00 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A	FOGLIO 24 di 36	

6.2.1 Bacini di dimensioni medio-grandi

Molto usata in Italia è la formula di Giandotti per il calcolo del tempo di corrivazione del bacino

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H}}$$

nella quale L rappresenta la lunghezza dell'asta principale e H la quota media 'netta' del bacino, cioè calcolata relativamente alla quota della sezione di chiusura. Uno dei motivi fondamentali per i quali questa formula rappresenta ancora un ausilio importante nella determinazione del tempo critico dei bacini idrografici è che per mezzo di tale formula sono stati ricostruiti molti valori di portata di piena storici nell'ambito del Servizio Idrografico Italiano. In particolare, essa è stata usata proprio per la ricostruzione dei valori eccezionali di piena, in corrispondenza dei quali le stazioni idrometriche spesso sono state distrutte. Nel caso dell'applicazione della formula razionale, non è del tempo di corrivazione che si ha però bisogno, bensì del tempo di ritardo. Questo passaggio è reso possibile da una procedura proposta da Silvagni (1984) nella quale si ipotizza un meccanismo di relazione tra le due grandezze tale che il tempo di ritardo risulta essere la metà di quello della corrivazione.

Il criterio appena esposto è stato usato per verifica da Versace et al. (1989) per i bacini calabresi. Nelle elaborazioni qui effettuate si è tenuto conto delle stime effettuate nello studio sulla Puglia del Vapi - GNDICI, che confermano tali valutazioni. Il tempo di ritardo t_r valutato per il bacino del Cervaro ad Incoronata è risultato pari a 7.9 ore circa la metà del valore t_c di Giandotti, 14.5.

6.2.2 Bacini di piccole dimensioni

Tutto quanto detto con riferimento alla formula di Giandotti perde significato quando si considerano bacini di dimensioni molto piccole, come certamente è il caso di quelli che sono sottesi dai tombini e ponticelli oggetto di analisi per il tracciato ferroviario. A questo riguardo, ed in considerazione dei problemi che possono derivare da applicazioni acritiche delle formule empiriche, negli ultimi anni si sono affermate relazioni basate sulla formulazione geomorfologica dell'IUH, che hanno il pregio di essere state derivate nell'ambito di uno schema matematico che porta direttamente alla costruzione dell'IUH di un bacino. Tra queste, di particolare efficacia è quella proposta da Troutman e Karlinger (1985), che fa dipendere dal numero di aste del primo ordine (e quindi, in ultima analisi dall'area S) e dalla celerità media della corrente in piena, secondo la relazione:

$$t_r = \frac{1.25\sqrt{S}}{3.6c}$$

La relazione derivata, piuttosto semplice, è tale da dare un preciso significato ai coefficienti, i cui valori sono peraltro molto vicini a coefficienti ricavati da analisi empiriche (v. es. Rossi e Villani, 1995; Ermini e Fiorentino, 1994). Ovviamente, perché la formula possa venir applicata è necessario introdurre valori tipici di celerità per le situazioni fisiche in esame. Tenuto conto che

$$c = 1.5 v$$

dove v è la velocità della corrente, vengono qui in aiuto valutazioni effettuate specificamente sulle velocità delle correnti in piena. Viparelli (1963) suggerisce i seguenti valori tipici di velocità:

alvei a lieve pendenza: $v = 1-1.3$ m/s

alvei a forte pendenza: $v = 1.5-2$ m/s

Nello studio regionale già citato con una procedura analoga a quella seguita da Troutman e Karlinger, Copertino et al. giungono a tarare la relazione:

$$t_r = 0.344\sqrt{S}$$

che è stata applicata alle stime in progetto.

Un altro aspetto particolarmente significativo per l'analisi in corso riguarda il fatto che in molti casi i bacini presentano aree tanto piccole da dar luogo a valori teorici del tempo di ritardo talmente bassi da non risultare verosimili. Come per le analoghe applicazioni che vengono svolte in ambito urbano, infatti, esistono dei tempi minimi di percorrenza che prescindono dalle dimensioni del bacino e che danno conto del ruscellamento sui versanti (incanalamento da strade e tetti in ambito urbano). Generalmente si assume che tali tempi siano dell'ordine dei 10 minuti.

Per quanto detto, quindi, nei casi in cui il tempo di ritardo stimato con la relazione regionale risulti essere inferiore a 0.15 ore (pari a 9 minuti), il valore assunto sarà pari proprio a 0.15 ore.

6.2.3 Superfici scolanti

Nel caso di superfici scolanti, ovvero bacini nei quali non è possibile identificare un chiaro reticolo idrografico e dove il deflusso superficiale avviene principalmente per ruscellamento senza canalizzarsi, si è applicata la formula di Kerby-Hathaway (Kerby 1959), particolarmente adatta per piccoli bacini.

$$t_r = 0.83 \left(\frac{nL}{S^{0.5}} \right)^{0.47}$$

Nella quale L (in piedi) rappresenta la distanza massima dello spartiacque, n il coefficiente di scabrezza di Manning e i la pendenza media del bacino; il coefficiente di manning è stato stimato sulla base delle indicazioni dell'Autorità di Bacino della Regione Puglia¹ e della copertura del suolo valutata tramite il progetto Corine Land Cover (ISPRA)

¹ Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico pugliese, con particolare riferimento alle aree del gargano, delle coste joniche e salentine della Regione Puglia – Relazione Generale Cervaro

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO-ORSARA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDROLOGICA					
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	
IF1W	00 D 29	RI	ID0001 001	A	26 di 36	

6.3 *IL COEFFICIENTE STATISTICO DI PIENA*

Il coefficiente statistico di piena dipende dalle caratteristiche geologiche dei bacini quali indicatori della permeabilità del suolo in condizioni di piena. All'incertezza derivante dalla sola caratterizzazione geologica si sofferisce di solito con un'analisi regionale, dalla quale emerge l'insieme delle relazioni tra i valori di C^* ed i complessi idrogeologici principali.

Per la determinazione del valore di riferimento di C^* ci si è pertanto avvalsi di informazioni sul comportamento dei bacini idrografici in piena desunte dai dati del Servizio Idrografico (Pubbl. n. 17) e da Copertino et al. (2001).

Va premesso che, in aree completamente impermeabili (zone caratterizzate dalla presenza di formazioni geologiche a prevalente matrice argillosa), il coefficiente C^* assume valori dell'ordine di $0.4 \approx 0.5$, mentre andando verso formazioni molto permeabili, quali sono quelle contraddistinte da forte permeabilità per fessurazione (massicci carbonatici), il valore del coefficiente scende al disotto di 0.1. In Campania (Rossi e Villani, 1995) il valore medio di C^* stimato per le aree impermeabili, è 0.38 mentre per i calcari va a 0.09, per scendere a zero se sui calcari è presente il bosco. Valori analoghi, con media prossima a 0.34, sono stati ottenuti in Basilicata, dove la matrice argillosa è prevalente. In presenza di formazioni di origine vulcanica (zona del Vulture) il coefficiente assume valori prossimi a quelli caratteristici dei calcari, cioè dell'ordine di 0.11-0.15 (Copertino e Fiorentino, 1994).

In Calabria, Versace et al. hanno stimato un valore di 0.159, molto stabile nell'ambito dei bacini esaminati, valore che rappresenterà il riferimento di partenza per questa analisi.

La valutazione di C^* si può effettuare per via indiretta se si hanno a disposizione dati riferiti al bacino di interesse o a bacini analoghi per caratteristiche idrogeologiche. Nel nostro caso sono disponibili osservazioni (seppur in numero esiguo) per i bacini pugliesi. Queste osservazioni, nello studio regionale citato, hanno costituito un utile confronto per la taratura della relazione da utilizzare:

$$C^* = 0.09 + 0.471 * (1 - PE)$$

in cui si indicato con PE la percentuale di area del bacino caratterizzata da alta permeabilità.

6.4 *TARATURA DEL TEMPO DI RITARDO E DEL COEFFICIENTE STATISTICO DI PIENA*

Per la taratura sono stati utilizzati i dati relativi alla permeabilità dei bacini riportati nella cartina allegata alla presente relazione.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO-ORSARA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IF1W	LOTTO 00 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

6.5 PORTATE MEDIE AL COLMO STIMATE PER I BACINI DI INTERESSE

In virtù di quanto è stato detto finora, il calcolo delle medie delle portate di piena al colmo nelle sezioni di interesse è stato effettuato in maniera diversificata per bacini piccoli e grandi secondo il seguente schema:

- Piccoli bacini: sono tutti appartenenti al bacino del Cervaro, Il tempo di critico di tutti questi bacini è calcolato con il metodo cinematico, secondo la relazione

$$t_r = 0.334 \sqrt{S}$$

limitando a 0.15 h il tempo critico minimo ammissibile.

- Grandi bacini: lungo il tracciato ferroviario si incontrano 3 attraversamenti significativi. Per queste sezioni è stato valutato il tempo di ritardo anche in funzione del tempo di corrivazione alla Giandotti

$$t_r = 0.5 t_c$$

Le curve di probabilità pluviometriche utilizzate per i due sottobacini sono quelle relative alla stazione di Orsara, sicuramente cautelativa.

- Superfici scolanti: sono quei bacini dove non è possibile individuare un reticolo idrografico definito; il tempo critico viene stimato attraverso la formula di Kerby-Hataway

$$t_r = 0.83 \left(\frac{nL}{S^{0.5}} \right)^{0.47}$$

Moltiplicando il valore medio ottenuto per quelli relativi ai fattori di crescita con riferimento ai periodi di ritorno di progetto, si ottengono le portate di interesse riportate nella tabella che segue.

Di seguito si riporta l'immagine dei bacini di interferenti con il progetto e in tabella si possono visualizzare le caratteristiche dei bacini e il calcolo delle relative portate.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO-ORSARA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDROLOGICA					
COMMESSA IF1W	LOTTO 00 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A	FOGLIO 28 di 36	

Tabella 5 – Portate al variare del tempo di ritorno (V. elab. IF1W00D29C3ID0001001A).

Prog.*	Bacino	$Q_{ T_r=2}$	$Q_{ T_r=5}$	$Q_{ T_r=10}$	$Q_{ T_r=20}$	$Q_{ T_r=50}$	$Q_{ T_r=100}$	$Q_{ T_r=200}$	$Q_{ T_r=500}$
		(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)
0+450	B1 - Acquara	10.4	17.5	23.3	29.8	39.6	47.3	55.2	65.7
0+300	B2 - Superficie scolante	1.1	1.8	2.4	3.0	4.0	4.8	5.6	6.7
0+000	B3 - Superficie scolante	0.5	0.8	1.1	1.3	1.8	2.1	2.5	3.0
30+669	B4 - Superficie scolante	0.4	0.7	0.9	1.1	1.5	1.8	2.1	2.5
30+342	B5 - Corso d'acqua	2.2	3.7	4.9	6.3	8.3	10.0	11.6	13.8
29+188	B6 - Cantalanotte	14.0	23.4	31.1	39.8	52.9	63.2	73.8	87.7

*le progressive dei bacini B1-B2-B3 sono relative alle progressive del baffo temporaneo

Tabella 6 – Parametri utili al calcolo della portata dei bacini di interesse

Prog.*	Bacino	PE	C*	$m[Q(I_{tr},A)]$
		[%]		(m^3/s)
0+450	B1 - Acquara	53%	0.311	12.6
0+300	B2 - Superficie scolante	53%	0.311	1.3
0+000	B3 - Superficie scolante	53%	0.311	0.6
30+669	B4 - Superficie scolante	53%	0.311	0.3
30+342	B5 - Corso d'acqua	53%	0.311	2.8
29+188	B6 - Cantalanotte	53%	0.311	16.8

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO-ORSARA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IF1W	LOTTO 00 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

7 BIBLIOGRAFIA

- Calenda, G. e C. Cosentino, Analisi regionale delle piogge brevi dell'Italia Centrale, L'Acqua, n.1, 20-31,1996.
- Copertino, V.A. e M. Fiorentino (a cura di), Valutazione delle piene in Puglia, Dipartimento di Ingegneria e Fisica dell'Ambiente, Università della Basilicata e GNDCI-CNR, 1994.
- Ente Nazionale Strade, Studio di Inserimento ambientale Autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria (Svincolo di S. Onofrio/Vibo Valentia - svincolo di Gioia Tauro), Aprile 1997.
- Ermini R. e M. Fiorentino, I tempi di ritardo caratteristici dei bacini idrografici, in: Copertino, V.A. e M. Fiorentino (a cura di), Valutazione delle piene in Puglia, Dipartimento di Ingegneria e Fisica dell'Ambiente, Università della Basilicata e GNDCI-CNR, 121-143, 1994.
- Hall, M.J. Urban Hydrology, Elsevier, London, 1984.
- Modica, C. e G. Rossi, Analisi delle piogge intense di durata inferiore ad 1 ora in Sicilia, in:
- Caloiero D., Mercuri T., Le alluvioni in Calabria dal 1921 al 1980, CNR, Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica. Cosenza, 1980
- Calomino e Veltri (a cura di) Orientamenti attuali di idrologia urbana, BIOS, Cosenza, 1988.
- Copertino V.A. e Fiorentino M. (a cura di), Valutazione delle piene in Puglia, Dipartimento di Ingegneria e Fisica dell'Ambiente e GNDCI (Gruppo Nazionale per la difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche), Potenza, 2001.
- Maione U., Appunti di idrologia 3. Le piene fluviali, La Goliardica Pavese, 1977
- Ministero LL.PP. Servizio Idrografico sezione di Catanzaro,Annali Idrologici, parte I., Roma, 1925-1984
- Ministero LL.PP., Dati caratteristici dei corsi d'acqua Italiani. Pubblicazione n° 17. Roma, 1980
- Penta A., F. Rossi, G. Silvagni, M. Veltri, P. Versace, Un modello stocastico per l'analisi delle massime piogge giornaliere in presenza di grandi nubifragi, Atti XVII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Palermo, 1980.
- Penta A., G. Silvagni, P. Versace, Analisi regionale dei massimi annuali delle portate al colmo di piena, Incontro di studio su: Estremi Idrologici e modelli di previsione, Perugia, 1978.
- Rossi F., Fiorentino M., Versace P., Two component extreme value distribution for Flood Frequency Analysis. Water Resources Research, Vol. 20, N.7, 1984
- Rossi F. e P. Villani (a cura di), Valutazione delle piene in Campania, Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Salerno e GNDCI (Gruppo Nazionale per la difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche), Salerno, 1995.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO-ORSARA PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>RELAZIONE IDROLOGICA</p>	<p>COMMESSA IF1W</p>	<p>LOTTO 00 D 29</p>	<p>CODIFICA RI</p>	<p>DOCUMENTO ID0001 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 30 di 36</p>

Silvagni G., Valutazione dei massimi volumi di piena, Istituti idraulici dell'Universotaa do Napoli, Pubbl. n. 489, 1984.

Troutman B.M. e M.R. Karlinger, Unit hydrograph approximations assuming linear flow through topologically random channel networks, Water Resources Research, 21(5), 743-754, 1985.

Versace P., E. Ferrari, S. Gabriele, F.Rossi, Valutazione delle piene in Calabria, IRPI Cosenza e GNDCI (Gruppo Nazionale per la difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche), Cosenza, 1989.

Villani, P. La valutazione della piena annua media, Atti dell'Istituto di Ingegneria Civile, Università di Salerno, n.108, 1990.

Viparelli C., Ricostruzione dell'idrogramma di piena, L'Energia Elettrica, 6, 421-428, 1963

Watt, W.E. and Chow, C.A., A general expression for the basin lag time, Canadian Journal of Civil Engineering, 12, p. 294-300, 1985.

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 29	RI	ID0001 001	A	31 di 36

8 ALLEGATI

Stazione Pluviometrica di Bovino

Anno	1	3	6	12	24
1929	50.0	64.0	64.2	64.2	64.2
1930		32.0	42.0	76.0	
1932	20.8	35.8	36.8	36.8	40.0
1933	24.6	28.0	29.6	41.8	50.2
1934	14.0	19.0	27.6	36.0	54.0
1935	17.8	17.8	29.6	36.2	38.8
1936	22.0	32.0	39.8	53.0	80.6
1942	34.0	38.4	39.0	54.4	64.8
1943	16.6	28.2	40.4	60.0	64.2
1945	12.6	16.0	29.0	53.0	90.6
1946	33.6	36.6	37.7	37.7	51.6
1951	39.0	43.0	46.2	46.2	54.4
1952	37.6	39.0	39.0	39.0	47.0
1953	15.4	20.6	33.4	47.4	56.0
1954	20.2	28.4	31.6	40.0	59.4
1955	28.6	42.2	57.8	77.8	130.2
1956	19.4	30.0	47.6	74.2	98.2
1957	19.8	33.8	53.0	69.8	98.4
1958	21.8	25.8	29.4	50.2	56.2
1959	32.4	32.8	36.0	49.4	52.8
1960	24.2	26.2	29.0	34.4	38.2
1961	16.8	25.0	47.0	58.8	89.6
1962	20.0	32.4	46.2	48.4	51.6
1963	18.4	31.8	38.2	44.6	73.6
1964	21.8	28.4	36.0	44.4	64.8
1965	19.2	23.8	30.6	42.6	55.6
1966	25.2	29.4	30.2	30.2	43.8
1967	40.0	83.8	84.2	84.6	85.2
1968	24.2	30.4	38.8	55.2	70.8
1969	26.4	28.0	33.2	51.0	71.8

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 29	RI	ID0001 001	A	32 di 36

Stazione Pluviometrica di Bovino

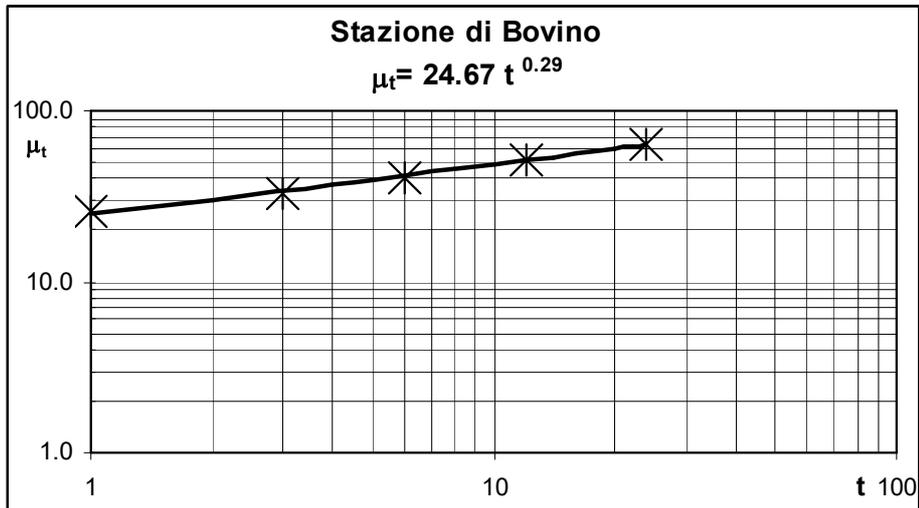
Anno	1	3	6	12	24
1970	32.6	34.6	41.2	53.8	74.6
1971	11.6	17.0	26.2	39.6	52.8
1973	32.4	55.2	61.0	64.6	64.6
1974	18.6	29.2	30.2	38.2	43.8
1975	32.2	46.4	75.8	89.8	106.2
1976	38.2	48.0	48.0	49.0	62.0
1977	12.2	15.8	18.2	21.2	25.4
1978	23.4	25.2	45.0	54.0	67.6
1979	21.4	33.2	40.8	54.0	56.8
1980	68.2	72.4	72.6	72.6	72.6
1981	29.8	31.8	31.8	31.8	35.6
1982	37.0	50.6	50.6	50.6	50.6
1983	16.6	25.0	45.0	62.8	82.4
1984	17.6	26.8	39.6	62.2	94.4
1985	17.4	28.4	51.6	86.0	104.2
1986	23.8	30.6	39.2	68.2	73.4
1988	17.4	18.2	36.2	48.0	48.4
1990		30.8	50.2	78.2	111.4
1991	18.4	27.0	29.4	39.6	55.6
1992	16.6	21.6	27.6	39.0	48.2
1993	33.8	33.8	36.4	45.0	49.0
1994	26.0	31.0	31.2	34.0	42.8
1995	25.0	25.4	25.4	39.8	44.2
1996	28.0	36.6	36.6	36.6	46.0
1997	35.6	38.4	38.4	43.6	58.4

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 29	RI	ID0001 001	A	33 di 36

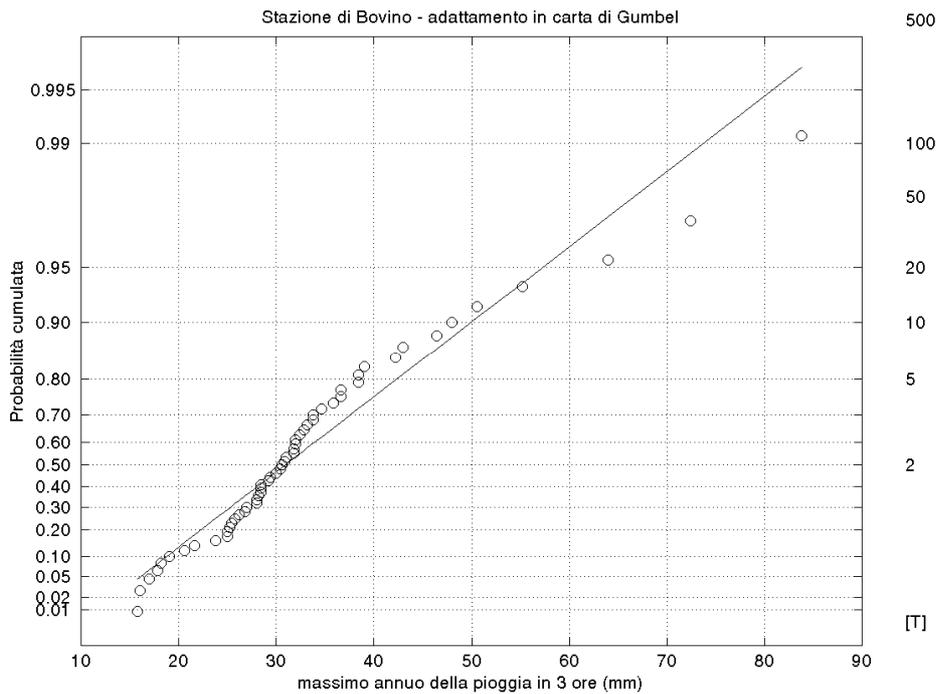
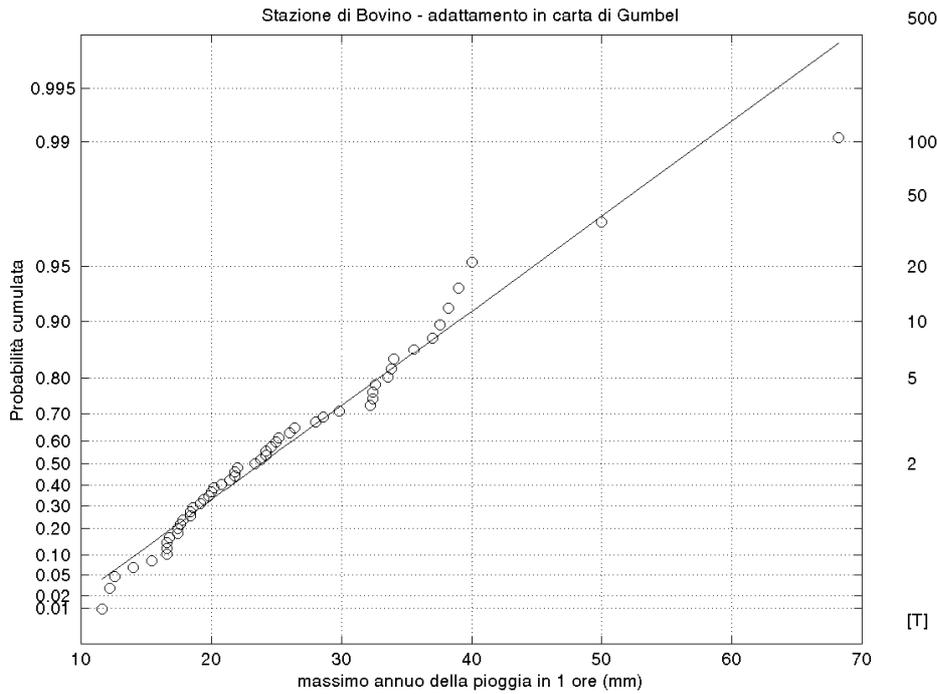
Risultati dell'elaborazione dei dati pluviometrici

N	53	55	55	55	54
μ_t	25.5	33.0	40.6	51.6	64.2
σ	10.32	12.98	12.91	15.54	21.66
ε	20.83	27.17	34.76	44.64	54.47
α	0.12	0.10	0.10	0.08	0.06
k'	0.89	0.86	0.67	0.62	0.71
CV	0.40	0.39	0.32	0.30	0.34
CV _m	0.35				
a	24.67				
n	0.29				



RELAZIONE IDROLOGICA

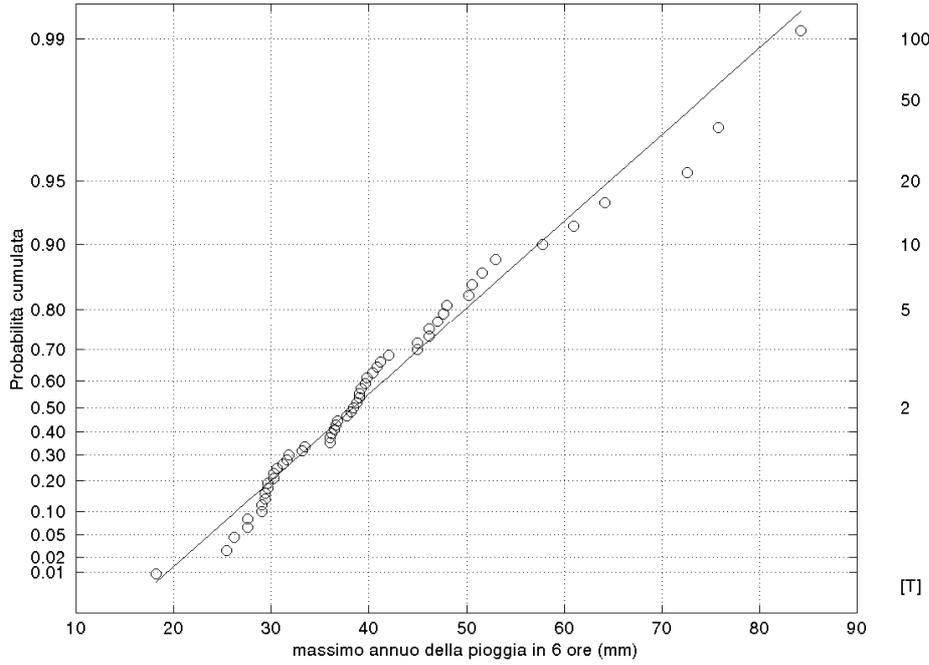
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 29	RI	ID0001 001	A	34 di 36



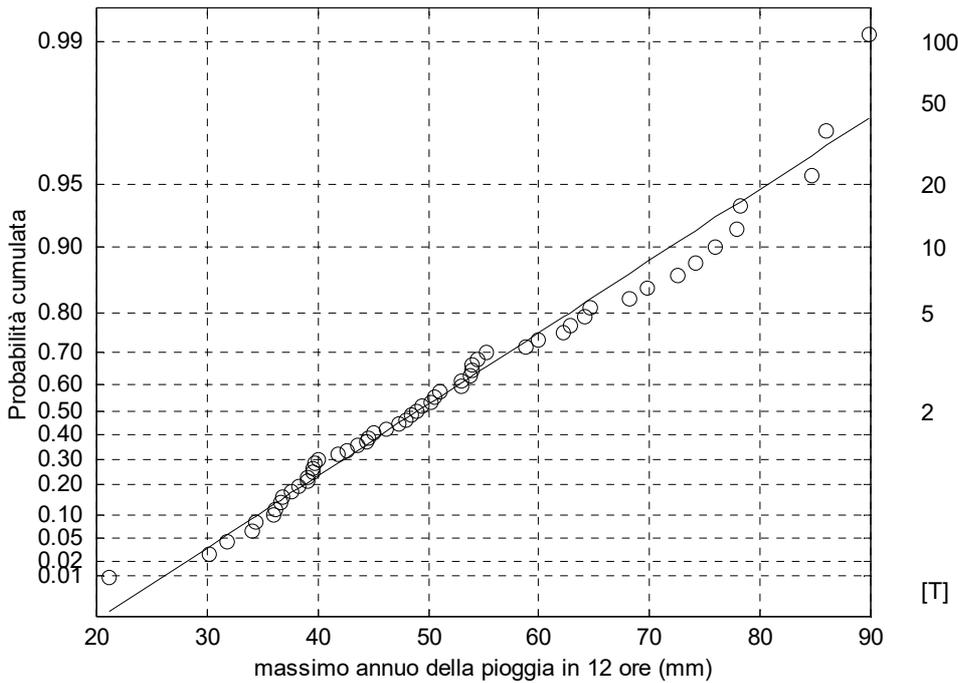
RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 29	RI	ID0001 001	A	35 di 36

Stazione di Bovino - adattamento in carta di Gumbel



Stazione di Bovino - adattamento in carta di Gumbel



RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 29	RI	ID0001 001	A	36 di 36

Stazione di Bovino - adattamento in carta di Gumbel

