

**S.S. 100 “di Gioia del Colle”
COMPLETAMENTO FUNZIONALE E MESSA IN SICUREZZA DELLA S.S. 100, TRA I KM
44+500 E 52+600 (SAN BASILIO) CON SEZIONE DI TIPO B.**

PROGETTO DEFINITIVO

COD. BA291

RESPONSABILE INTEGRAZIONE SPECIALISTICA

Ing. Alessandro Aliotta – Ordine degli Ingegneri di Genova n° 7995 A

IL PROGETTISTA E COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. Vito Capotorto – Ordine degli Ingegneri di Taranto n° 1080

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Mario Stani

(Ordine dei Geologi della Puglia n° 279)

L'ARCHEOLOGO: Dott.ssa Paola Innuzziello

Elenco MIC n. 2571 – archeologo di 1° fascia ai sensi del D.M. 244/2019

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Alberto SANCHIRICO

Progettisti



DIRETTORE TECNICO
Prof. Ing. Andrea Del Grosso



DIRETTORE TECNICO
Ing. Franz Pacher



DIRETTORE TECNICO
Ing. Primo STASI



Ing. Tommaso DI BARI
Ing. Vito CAPOTORTO



DIRETTORE TECNICO
LAND Italia Srl
Arch. Andreas KIPAR

**Idrologia e idraulica
Idrologia e Idraulica di Bacino
Relazione Idrologica**

CODICE PROGETTO

NOME FILE

T00ID00IDRRE01_A

REVISIONE

SCALA:

PROGETTO

LIV. PROG.

ANNO

STBA0291

D

23

CODICE
ELAB.

T00ID00IDRRE01

A

-

A	Prima emissione	Giugno 2023	N.Petracca	P.Stasi	P.Stasi
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

Sommario

1	PREMESSA	3
2	CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA E DI USO DEL SUOLO	4
3	ANALISI PLUVIOMETRICA E STIMA DELLE PORTATE AL COLMO DI PIENA	7
3.1	ANALISI DEI DATI PLUVIOMETRICI SECONDO IL MODELLO DI GUMBEL	7
3.2	STIMA DELLE PRECIPITAZIONI NETTE SECONDO IL METODO SCS-CN	14
3.3	IDROGRAMMI DI PIENA.....	16

Indice delle Tabelle e delle Figure

SOMMARIO	1
FIGURA 1-1: RETICOLO IDROGRAFICO DA CARTA IDROGEOMORFOLOGICA (DA ADB PUGLIA) - ORTOFOTO GOOGLE SATELLITE.....	3
TABELLA 2-1: PRINCIPALI CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEI BACINI IDROGRAFICI	4
TABELLA 2-2: CN (III) PER I BACINI OGGETTO DI STUDIO.....	5
TABELLA 2-3: RISULTATI DEL PROCEDIMENTO DI STIMA DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE DI BACINO TC.....	6
FIGURA 3-1: UBICAZIONE DELLE STAZIONI PLUVIOMETRICHE E INDICAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI E DEL TRACCIATO DELLA SS100, IN ROSSO (FOTO AEREA: GOOGLE EARTH)	7
TABELLA 3-1: DATI STATISTICI DELLA SERIE STORICA - STAZIONE DI CASTELLANETA.....	8
TABELLA 3-2: DATI STATISTICI DELLA SERIE STORICA - STAZIONE DI GIOIA DEL COLLE	8
TABELLA 3-3: DATI STATISTICI DELLA SERIE STORICA - STAZIONE DI MOTTOLA	8
TABELLA 3-4: DATI STATISTICI DELLA SERIE STORICA - STAZIONE DI NOCI.....	9
TABELLA 3-5: PARAMETRI DELLE CPP PER LE DIVERSE SERIE STORICHE DELLE STAZIONI PLUVIOMETRICHE	10
TABELLA 3-6: SUPERFICI DI INFLUENZA DEI PLUVIOMETRI DAL METODO DEI POLIGONI DI THIESSEN.....	11
TABELLA 3-7: LAMA LOC. BOSCO DEI TERZI, RAMO 1	12
TABELLA 3-8: B2: LAMA LOC. BOSCO DEI TERZI, RAMO 2	12
TABELLA 3-9: BACINO B3: LAMA LOC. BOSCO DEI TERZI, RAMO 3	13
TABELLA 3-10: LAMA LOC. BOSCO DEI TERZI, RAMO 4	13
TABELLA 3-11: RETICOLO N.5.....	13
TABELLA 3-12: BACINO B6: LAMA SAN BASILIO.....	14
TABELLA 3-13: VALORI DEL PARAMETRO S [MM] E DELL'ALTEZZA "NETTA" DI PIOGGIA HNETTA [MM] DELL'EVENTO CRITICO PER ASSEGNATI TEMPI DI RITORNO.....	15
TABELLA 3-14: VALORI DELLA DURATA CRITICA t_c [ORE] E DELL'INTENSITÀ DI PIOGGIA INETTA [MM] DELL'EVENTO CRITICO PER ASSEGNATI TEMPI DI RITORNO.....	16
TABELLA 3-15: PORTATE DI PICCO PER I DIVERSI TEMPI DI RITORNO	16

1 PREMESSA

La presente relazione tecnica fa parte degli elaborati dello Studio di Compatibilità Idraulica allegati al Progetto Definitivo dei lavori per il "Completamento funzionale e messa in sicurezza della SS100, tra i Km 44+500 e 52+600 (San Basilio) con sezione di tipo B" ed illustra lo studio idrologico condotto a corredo della progettazione delle opere interferenti con il reticolo idrografico.

Il tracciato stradale, infatti, si sviluppa in direzione NO-SE lungo un territorio caratterizzato da un reticolo idrografico che si estende in direzione NE-SO, determinando interferenze puntuali con n.6 corsi d'acqua meglio definiti Lamae. In corrispondenza della parte terminale dell'intervento in progetto, la SS100 interferisce con Lama San Basilio, il corso d'acqua che sottende il bacino idrografico più esteso e che attualmente genera vaste aree di allagamento.

In questo documento si illustrano nel dettaglio l'analisi pluviometrica per definizione delle curve di possibilità pluviometrica e la modellazione matematica svolta per la determinazione delle portate di piena.

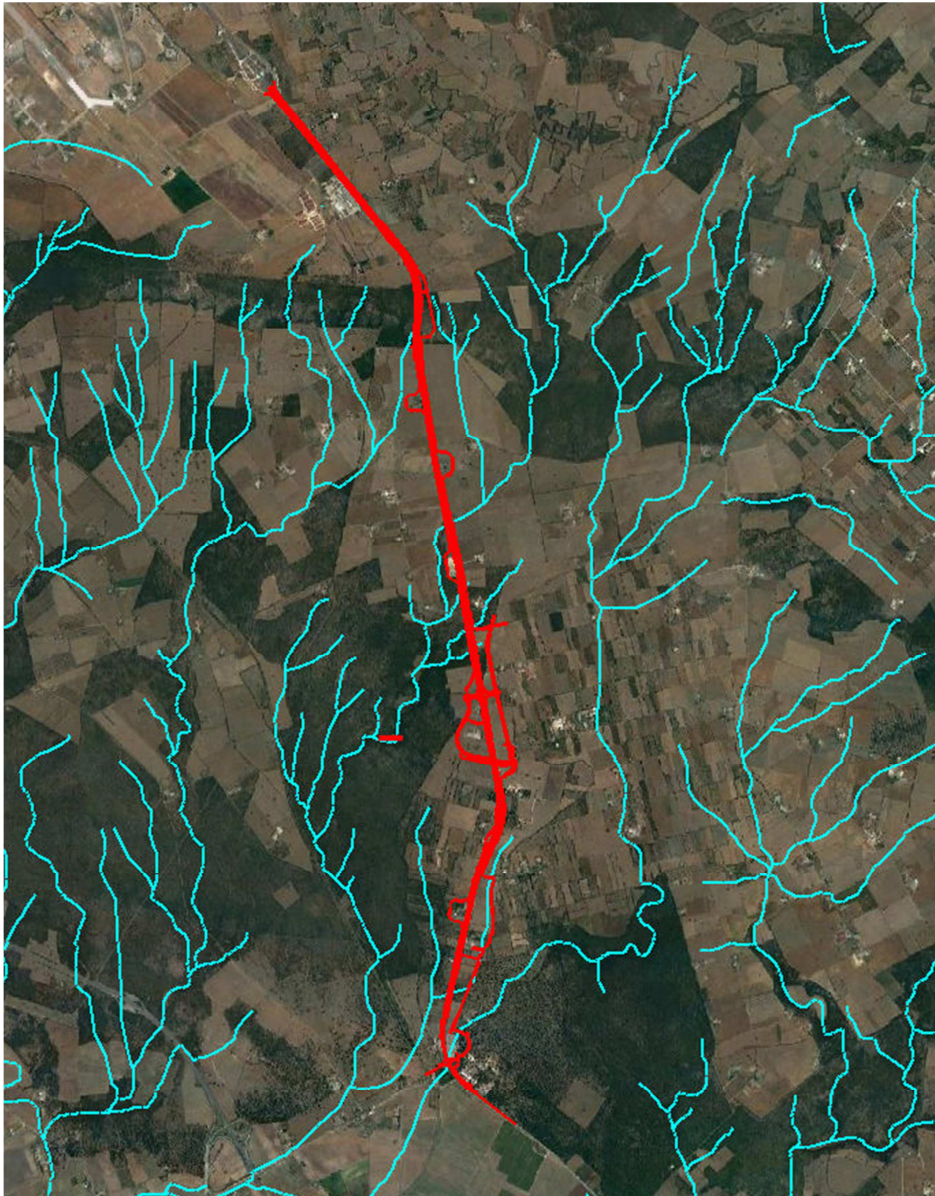


Figura 1-1: Reticolo idrografico da Carta Idrogeomorfologica (da AdB Puglia) - Ortofoto Google satellite

2 CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA E DI USO DEL SUOLO

La caratterizzazione morfologica dei bacini individuati è stata eseguita in conformità a:

- Tavole I.G.M. alla scala 1:25.000, a colori;
- CTR 1:10.000;
- DEM, di maglia 1 x 1 m, derivante da dati di rilievo Lidar (fonte: Ministro dell'Ambiente e Tutela del Territorio e del Mare).

La perimetrazione dei bacini è stata limitata ai soli corsi d'acqua interferenti con le opere in progetto, e per ciascun bacino individuato, sono state determinate attraverso elaborazioni con software QGIS:

- Superficie del bacino S [km^2];
- Altitudine massima H_{\max} [m.s.l.m.], altitudine media H_{media} [m.s.l.m.], altitudine minima H_{\min} [m.s.l.m.], sulle quote altimetriche delle celle del DEM racchiuse all'interno del perimetro di ciascun bacino idrografico analizzato;
- Pendenza media del bacino i_v [m/m]: analizzando le pendenze medie delle celle del modello digitale ricadenti all'interno dei bacini di interesse;
- Lunghezza dell'asta L [km]: stimandone la lunghezza in ambiente GIS.

Tabella 2-1: Principali caratteristiche morfologiche dei bacini idrografici

ID	BACINO	Superficie S	Lunghezza asta princ. L	Altitudine media H_{media}	Pendenza media i_v
		[km^2]	[km]	[m.s.l.m.]	[m/m]
B1	Lama Bosco dei Terzi ramo1	4.84	4.29	360.68	0.023
B2	Lama Bosco dei Terzi ramo2	0.10	0.38	322.27	0.005
B3	Lama Bosco dei Terzi ramo3	0.44	0.94	322.51	0.007
B4	Lama Bosco dei Terzi ramo4	0.36	0.38	322.32	0.009
B5	Reticolo n.5	0.78	1.68	304.35	0.031
B6	Lama San Basilio	23.34	11.64	366.58	0.048

La delimitazione dei bacini idrografici è stata eseguita tracciando le dislivelli, determinabili appoggiandosi ai punti di quota più elevata e intersecando a 90° le isoipse o curve di livello generate a partire dal modello digitale del terreno DTM con maglia 1x1 m. La perimetrazione dei bacini è stata sovrapposta su base cartografica IGM 25.000, le interferenze tra il reticolo idrografico e il tracciato dell'intervento in progetto, costituiscono le sezioni di chiusura dei bacini.

Quale supporto alla successiva fase di valutazione delle precipitazioni nette, da considerare nella trasformazione afflussi-deflussi secondo il metodo SCS-CN integrato con la formula razionale per la determinazione delle portate al colmo di piena, si è proceduto all'analisi della cartografia di uso del suolo Corine Land Cover 2018 (<https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018>) e in particolare ricavando per l'area di ciascun bacino gli usi del suolo prevalenti e le rispettive quote di superficie. Esistono, infatti, numerosi studi di letteratura, tra i quali USDA (1986, 2004), che consentono la stima dei valori del parametro denominato Curve Number (CN) per incrocio delle caratteristiche di uso prevalente del suolo e delle caratteristiche idrologiche del suolo, secondo i 4 tipi idrologici A-B-C-D a permeabilità decrescente.

Gli usi del suolo tipicamente presenti nel territorio dei bacini idrografici sono risultati essere i seguenti:

- Cod. 211 – seminativi semplici in aree non irrigue;
- Cod. 222 – frutteti e frutti minori;
- Cod. 223 - uliveti
- Cod. 311 – boschi di latifoglie;
- Cod. 321 – aree a pascolo o incolte;
- Cod. 333 – aree con vegetazione rada.

Riguardo le caratteristiche di capacità di formazione del deflusso, i suoli sono stati classificati nel Gruppo idrologico B – Suoli di modesta infiltrabilità se saturi, essendo composti prevalentemente da depositi sabbiosi e conglomerati rocciosi di natura calcarea tendenti alla fratturazione.

Nella formula che stima il valore dell'invaso di precipitazioni idriche immagazzinato nel suolo, secondo il metodo del Soil Conservation Service, figura il parametro *CN* che assume valori compresi tra 0 e 100 e rappresenta l'attitudine del bacino esaminato a produrre deflusso. La stima del *CN* presuppone, inizialmente, la determinazione del gruppo idrologico del suolo ricadente nel bacino e l'individuazione di aree omogenee per destinazione d'uso. A ciascuna area omogenea, di superficie nota, viene attribuito il *CN* appropriato, sulla base di una correlazione con la classe di uso del suolo. Le associazioni tra Classe *Corine Land Cover* e parametro *CN* sono state ricavate sulla base di studi sviluppati in precedenza da autorità di bacino e altri enti.

Il valore di *CN* dell'intero bacino si ottiene come media pesata, con peso la superficie, dei valori stimati per le singole aree omogenee.

Il metodo tiene anche conto delle condizioni di umidità del suolo antecedenti all'inizio dell'evento. A tal fine il valore medio *CN(II)* è stato incrementato per ottenere il *CN(III)*, in condizioni di maggiore umidità dei suoli vegetali per effetto di precipitazioni di intensità elevata cadute nei cinque giorni precedenti l'evento critico di progetto.

A seguire si riportano i risultati ottenuti dal calcolo del curve number finale *CN(III)* per i bacini oggetto di studio.

Tabella 2-2: *CN (III)* per i bacini oggetto di studio

ID	BACINO	Superficie S	Curve Number CN
		[km ²]	
B1	Lama Bosco dei Terzi pk1	4.84	71
B2	Lama Bosco dei Terzi pk2	0.10	75
B3	Lama Bosco dei Terzi pk3	0.44	75
B4	Lama Bosco dei Terzi pk4	0.36	75
B5	Reticolo n.5	0.78	75
B6	Lama San Basilio pk	23.34	71

Per tradurre in termini quantitativi il ritardo temporale esistente tra l'idrogramma di piena e lo ietogramma che lo ha generato, l'evento di precipitazione viene caratterizzato mediante un tempo caratteristico, e in particolare si è optato per l'utilizzo del tempo di corrvazione del bacino t_c , cioè il tempo necessario alla goccia di pioggia che cade nel punto idraulicamente più lontano per raggiungere la sezione di chiusura del bacino.

La definizione del tempo di corrvazione consente di spiegare perché la piena si verifica se l'evento meteorico considerato ha una durata almeno pari al tempo di corrvazione del bacino, dato che in questo caso tutta l'area scolante contribuisce ai fini del deflusso superficiale.

Un altro tempo caratteristico dell'evento di piena è il *tempo di ritardo* t_L (lag time), generalmente definito come la distanza temporale tra il baricentro dell'idrogramma di piena superficiale, depurato cioè delle portate di base che sarebbero defluite nel corso d'acqua anche in assenza dell'evento di piena, e il baricentro del pluviogramma netto. Il Soil Conservation Service (SCS) americano, ha dedotto, empiricamente, che il rapporto t_L/t_c è pari a 0.6.

Vista l'esistenza di diverse formule di letteratura, aventi carattere sperimentale, per la stima del tempo di corrivazione del bacino, sono state utilizzate tre formule e in seguito si è fissato il valore del tempo t_c come media dei valori ottenuti da ciascuna formula.

La prima formula utilizzata è quella proposta da *Giandotti*:

$$t_{c1} = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m}}$$

In cui t_c è espresso in ore, A in km^2 , L è la lunghezza dell'asta principale del corso d'acqua, espressa in km, e H_m è l'altitudine media del bacino, riferita alla sezione di chiusura, espressa in m.s.l.m..

La seconda formula adottata è l'equazione nota in letteratura come formula di *Kirpich*:

$$t_{c2} = 0.000325 \left(\frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^{0.77}$$

In cui t_c è espresso in ore e L è la lunghezza dell'asta principale, espressa in m, e i_a è la pendenza media del bacino (m/m).

La terza espressione per il calcolo del tempo di corrivazione è la formula del *Soil Conservation Service*, funzione del parametro *Curve Number* (CN) del bacino:

$$t_{c3} = 1.67 \cdot 2.587 \frac{L^{0.8}}{1900 \cdot i_v^{0.5}} \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

Dove L è la lunghezza dell'asta principale, espressa in m, e i_v è la pendenza media del bacino (%).

La seguente tabella riporta i valori ottenuti dalla stima del tempo di corrivazione per ciascun bacino idrografico:

Tabella 2-3: Risultati del procedimento di stima del tempo di corrivazione di bacino t_c

ID	BACINO	Superficie S	t. di corrivazione (Giandotti)	t. di corrivazione (Kirpich)	t. di corrivazione (S.C.S.)	t. di corrivazione medio
		[km^2]	t_{c1} (ore)	t_{c2} (ore)	t_{c3} (ore)	t_c (ore)
B1	Lama Bosco dei Terzi ramo1	4.84	1.00	0.87	3.59	1.82
B2	Lama Bosco dei Terzi ramo2	0.10	0.13	0.24	0.73	0.37
B3	Lama Bosco dei Terzi ramo3	0.44	0.28	0.43	1.56	0.76
B4	Lama Bosco dei Terzi ramo4	0.36	0.21	0.30	0.66	0.39
B5	Reticolo n.5	0.78	0.43	0.38	1.04	0.62
B6	Lama San Basilio	23.34	2.40	1.42	5.20	3.01

3 ANALISI PLUVIOMETRICA E STIMA DELLE PORTATE AL COLMO DI PIENA

3.1 ANALISI DEI DATI PLUVIOMETRICI SECONDO IL MODELLO DI GUMBEL

Il territorio preso in esame ricade, complessivamente, nell'area compresa tra i comuni di Gioia del Colle e Noci a nord, e Castellaneta e Mottola a sud. Il terreno degrada altimetricamente, da monte verso valle, all'incirca in direzione NE-SO fino a una zona prevalentemente pianeggiante all'altezza di San Basilio che discende progressivamente in direzione della gravina di Castellaneta.

I dati oggetto di elaborazione sono costituiti dai valori di altezza di pioggia h [mm] massima annuale per le assegnate durate di pioggia di 1, 3, 6, 12, 24 ore, ottenuti dalle misure dirette registrate ai pluviometri della rete di monitoraggio del Centro Funzionale Multirischi della Protezione Civile della Regione Puglia presenti in prossimità dell'area di intervento

Nello specifico sono stati analizzati i dati delle seguenti stazioni pluviometriche:

- Castellaneta (TA), periodo storico: 1962-2020;
- Gioia del Colle (BA), periodo storico: 1961-2020;
- Mottola (TA), periodo storico: 2008-2020;
- Noci (BA), periodo storico 1929-2020;

La posizione geografica delle stazioni pluviometriche di cui sono state indagate le serie storiche di precipitazioni massime, è riportata nella foto aerea di Figura 3-1

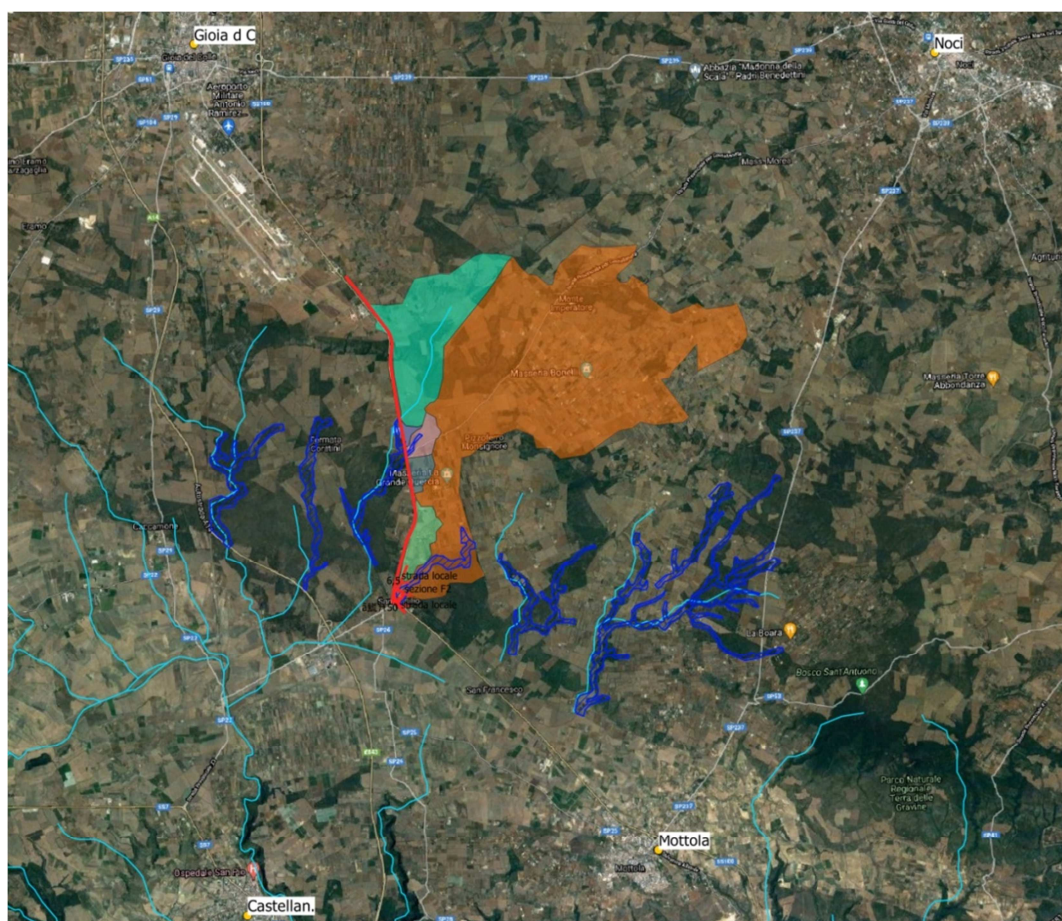


Figura 3-1: Ubicazione delle stazioni pluviometriche e indicazione dei bacini idrografici e del tracciato della SS100, in rosso (foto aerea: Google Earth)

Si è adottato il modello probabilistico di Gumbel come distribuzione di probabilità delle altezze di pioggia massime annuali di assegnata durata, contenute nelle serie storiche; la legge di Gumbel, o prima legge del valore estremo (EV1) descrive la distribuzione di probabilità degli eventi estremi, caratterizzata dalla seguente espressione della curva di frequenza (CDF):

$$P(h) = e^{-e^{-\alpha(h-u)}}$$

La funzione di probabilità è di tipo doppio esponenziale, in cui $P(h)$ è la probabilità di non superamento della variabile idrologica h , α e u sono i due parametri della legge di Gumbel legati alla media $\mu(h)$ e allo scarto quadratico medio $\sigma(h)$ della variabile h .

Per ciascuna delle stazioni pluviometriche, e per ogni serie storica di diversa durata, i parametri delle distribuzioni di probabilità, sono stati calcolati con il metodo dei momenti.

Calcolando per ogni assegnata durata θ , la media μ e lo scarto quadratico medio σ campionari delle altezze massime annuali di precipitazione h e utilizzando le relazioni:

$$\alpha = \frac{1.28}{\sigma} \quad \text{e} \quad u = \mu - 0.45 \cdot \sigma$$

Si ottengono i valori riportati nella seguente tabella 5, in cui è riportato anche il coefficiente di variazione $V = \sigma/\mu$ che dipende dalla durata θ considerata.

Tabella 3-1: Dati statistici della serie storica - stazione di Castellaneta

	1 ORA	3 ORE	6 ORE	12 ORE	24 ORE
media	35.3	46.6	53.6	60.0	68.2
s.q.m.	22.22	30.33	31.43	31.64	32.15
V	0.63	0.65	0.59	0.53	0.47
a	0.058	0.042	0.041	0.040	0.040
u	25.25	33.00	39.48	45.81	53.73

Tabella 3-2: Dati statistici della serie storica - stazione di Gioia del Colle

	1 ORA	3 ORE	6 ORE	12 ORE	24 ORE
media	33.3	42.7	48.6	56.9	66.5
s.q.m.	15.65	23.16	24.17	27.20	27.59
V	0.47	0.54	0.50	0.48	0.42
a	0.082	0.055	0.053	0.047	0.046
u	26.23	32.31	37.73	44.70	54.03

Tabella 3-3: Dati statistici della serie storica - stazione di Mottola

	1 ORA	3 ORE	6 ORE	12 ORE	24 ORE
media	32.2	41.3	50.3	56.3	67.2
s.q.m.	12.98	15.37	18.62	16.95	20.56
V	0.40	0.37	0.37	0.30	0.31

a	0.099	0.083	0.069	0.076	0.062
u	26.37	34.42	41.96	48.68	57.92

Tabella 3-4: Dati statistici della serie storica - stazione di Noci

	1 ORA	3 ORE	6 ORE	12 ORE	24 ORE
media	29.0	38.6	46.3	55.0	64.6
s.q.m.	11.68	15.14	18.98	21.46	24.22
V	0.40	0.39	0.41	0.39	0.38
a	0.110	0.085	0.067	0.060	0.053
u	23.77	31.83	37.80	45.32	53.67

La distribuzione di probabilità di Gumbel può essere esplicitata rispetto ad h , ottenendo con semplici passaggi l'espressione, per una generica durata:

$$h(\theta) = u(\theta) - 1/\alpha(\theta) \cdot \ln(-\ln(P))$$

Sostituendo al posto di u e α le rispettive espressioni, ricordando che $V = \sigma/\mu$ e poiché la probabilità P è legata al tempo di ritorno T dalla relazione $P = 1 - 1/T$, l'espressione di $h(\theta)$ può essere riscritta come:

$$h(\theta) = \mu(\theta) \cdot \left\{ 1 - V \cdot [0,45 + (1/1,28) \cdot \ln(-\ln(1 - 1/T))] \right\}$$

ponendo in evidenza il fattore di crescita K_T , che racchiude in sé la dipendenza di h dal tempo di ritorno T , e che nel caso specifico in cui la distribuzione di probabilità adottata sia quella di Gumbel:

$$K_T = - \left[0,45 + \frac{1}{1,28} \cdot \ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right) \right]$$

Si ottiene l'espressione sintetica:

$$h(\theta) = \mu(\theta) \cdot (1 + V \cdot K_T)$$

Quest'ultima equazione consente di ricavare le altezze di pioggia $h(\theta, T)$ per le diverse durate, corrispondenti ai tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni.

A partire dalle altezze di pioggia ottenute dalla formula della distribuzione di probabilità di Gumbel esplicitata rispetto ad h , si possono stimare i parametri a ed n delle curve di possibilità pluviometrica con il metodo vincolato.

Le evidenze sperimentali mostrano che le precipitazioni intense godono di una proprietà fisica nota come invarianza di scala, tale per cui vale la relazione:

$$h(T, \lambda \cdot \theta) / h(T, \theta) = \lambda^n$$

essendo λ un fattore di scala ed n l'esponente caratteristico del sito. Detta invarianza di scala implica l'autosomiglianza statistica fra la distribuzione di probabilità di $h(\theta)$ e quella di $h(\lambda \cdot \theta)$, cioè:

$$P(h(\theta)) = P(h(\lambda \cdot \theta))$$

Applicando quindi l'invarianza di scala e, quale conseguenza dell'autosomiglianza statistica, vale la relazione:

$$\mu(\theta) = a_\mu \cdot \theta^n$$

Essendo a_μ il valore assunto dal parametro a per la curva di possibilità pluviometrica relativa alle medie $\mu(\theta)$. Introducendo tale relazione nell'espressione sintetica di $h(\theta)$ si ottiene:

$$h(\theta, T) = a_\mu \cdot \theta^n \cdot (1 + V \cdot K_T)$$

da cui, tenendo conto dell'espressione generale:

$$h(\theta, T) = a(T) \cdot \theta^n$$

si ottiene:

$$a(T) = a_\mu \cdot (1 + V \cdot K_T)$$

Nel piano logaritmico l'espressione monomia della curva di possibilità pluviometrica relativa alle medie $\mu(\theta)$ diviene, qualunque sia la base logaritmica adottata:

$$\log \mu(\theta) = \log a_\mu + n \cdot \log \theta$$

Analogamente all'equazione di una retta nel piano cartesiano, con evidente parallelismo dei simboli:

$$y = b + m \cdot x$$

Utilizzando le formule di regressione del metodo dei minimi quadrati, nelle quali N è il numero di durate considerate per la retta di regressione:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N y_i \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 - \sum_{i=1}^N x_i \cdot \sum_{i=1}^N (x_i \cdot y_i)}{N \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2}$$

$$m = \frac{N \cdot \sum_{i=1}^N (x_i \cdot y_i) - \sum_{i=1}^N x_i \cdot \sum_{i=1}^N y_i}{N \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2}$$

Si ottengono, infine, svolgendo la regressione delle medie $\mu(\theta)$:

$$n = m$$

$$a_\mu = e^b$$

Tali valori, inseriti nella seguente relazione, rappresentano in forma sintetica, le curve di possibilità pluviometrica per qualunque tempo di ritorno T .

$$h(\theta, T) = a_\mu \cdot \theta^n \cdot (1 + V \cdot K_T)$$

A partire dalle serie storiche delle altezze massime di pioggia si sono dunque ottenuti, mediante il procedimento descritto, i valori dei parametri delle curve di possibilità pluviometrica specifiche delle stazioni pluviometriche, in tabella:

Tabella 3-5: Parametri delle cpp per le diverse serie storiche delle stazioni pluviometriche

Parametri delle curve di possibilità pluviometrica						
	$T_R = 30$		$T_R = 200$		$T_R = 500$	
	a	n	a	n	a	n
	[mm/h ⁿ]	[-]	[mm/h ⁿ]	[-]	[mm/h ⁿ]	[-]
Castellaneta	81.8	0.205	112.8	0.205	127.7	0.205
Gioia del Colle	68.5	0.216	92.4	0.216	103.9	0.216
Mottola	57.2	0.230	74.1	0.230	82.3	0.230
Noci	54.5	0.253	71.6	0.253	79.9	0.253

Dall'analisi dei coefficienti di correlazione lineare R^2 dei procedimenti di interpolazione effettuati per ricavare le curve di possibilità pluviometrica di ciascuna delle stazioni oggetto di studio, si evince che, essendo i valori di R^2 prossimi all'unità, i valori dei parametri a e n individuati, derivano da una regressione che si adatta bene ai valori medi campionari.

Stazione di Castellaneta

interpolazione basata su 5 punti	
V_m	0.573
n	0.205
a_m	36.2
coeff. di correlaz. lin.	0.99514

Stazione di Gioia del Colle

interpolazione su 5 punti	
V_m	0.481
n	0.216
a_m	33.3
coeff. di correlaz. lin.	0.99958

Stazione di Mottola

interpolazione su 5 punti	
V_m	0.350
n	0.230
a_m	32.4
coeff. di correlaz. lin.	0.99802

Stazione di Noci

interpolazione su 5 punti	
V_m	0.394
n	0.253
a_m	29.2
coeff. di correlaz. lin.	0.99969

Essendo le misure di precipitazione di tipo puntuale, a partire dai risultati dell'elaborazione statistica sulle serie storiche dei pluviometri di Castellaneta, Gioia del Colle, Mottola e Noci, si è giunti ad ottenere i parametri delle curve di possibilità pluviometrica per ciascun bacino idrografico, mediante il metodo dei *poligoni di Thiessen* o *topoietti*. La determinazione delle superfici di influenza si ottiene collegando con segmenti tutte le stazioni contigue. Per ogni lato si traccia l'asse cioè la retta passante per il punto medio e ortogonale al lato stesso, individuando un'altra rete costituita da poligoni regolari denominati topoietti e contenenti al loro interno una stazione. Si assegna quindi ad ogni stazione una superficie di influenza coincidente con l'area del poligono o di quella parte di esso che è contenuto nel bacino in esame.

Per determinare le intensità di pioggia di ciascun bacino per assegnate durate e tempi di ritorno si è proceduto a moltiplicare i rispettivi valori di intensità di pioggia ai pluviometri per le rispettive quote di superfici di influenza sull'area del singolo bacino.

Tabella 3-6: Superfici di influenza dei pluviometri dal metodo dei poligoni di Thiessen

N.	Pluviometro	Bacini idrografici					
		B1	B2	B3	B4	B5	B6
1	CASTELLANETA	0%	0%	0%	0%	5%	5%
2	GIOIA DEL COLLE	100%	100%	80%	0%	0%	25%
3	MOTTOLA	0%	0%	20%	100%	95%	35%
4	NOCI	0%	0%	0%	0%	0%	35%

Nel caso di bacini aventi tempi di corrivazione inferiori a un'ora, l'utilizzo dei parametri calcolati nei paragrafi precedenti si ritiene che possa portare talvolta ad una sottostima delle intensità di pioggia. Per durate inferiori all'ora i dati pubblicati negli annali idrologici sono sporadici, ne consegue che la determinazione delle curve di possibilità pluviometrica in tale settore di durata presenta gravi incertezze e non può essere estrapolata per valori della durata di pioggia inferiori a un'ora.

Per ovviare a ciò, nelle trasformazioni afflussi-deflussi aventi tempi di corrivazione e conseguenti durate critiche inferiori a un'ora si è proceduto adottando una metodologia di stima delle altezze di pioggia derivante da valutazioni sviluppate in letteratura sulla base di osservazioni sperimentali.

In letteratura sono disponibili numerosi studi ed esperienze che mostrano come le altezze d'acqua massime associate ad eventi di breve durata, siano correlate a quelle determinate per tempi di pioggia di un'ora secondo uno schema tipico.

È stato infatti dimostrato, che il rapporto tra l'altezza di pioggia $h_{t,T}$, con t minore di 60 minuti, e l'altezza di pioggia $h_{60,T}$ di durata 60 minuti e pari tempo di ritorno T , è dipendente solo dalla durata t espressa in minuti:

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = f(t)$$

Avendo indicato con f un simbolo funzionale.

Studi realizzati in Italia [Ferro V., Bagarello V. 1996] hanno dimostrato che il legame funzionale di cui sopra può essere espresso nella semplice forma:

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = \left(\frac{t}{60}\right)^s$$

In cui s è un coefficiente che assume un diverso valore numerico in dipendenza della regione in esame, e determina il valore del parametro esponente n della curva di possibilità pluviometrica.

Il coefficiente s assume il valore 0.227 per la Puglia.

Mediante il metodo sopra descritto si sono ottenuti i valori delle intensità di pioggia assegnate durate, riepilogati nelle tabelle seguenti. Per i bacini aventi tempo di corrivazione $t_c = d < 1$ ora, si è effettuato anche il procedimento di correlazione descritto in precedenza.

Tabella 3-7: Lama Loc. Bosco dei Terzi, ramo 1

T_R	30	200	500
d [h]	i [mm/h]		
1	68.5	92.4	103.9
3	28.9	39.0	43.9
6	16.8	22.7	25.5
12	9.8	13.2	14.8
24	5.7	7.6	8.6

Tabella 3-8: B2: Lama Loc. Bosco dei Terzi, ramo 2

T_R	30	200	500
d [min]	i [mm/h]		
10	273.7	369.1	415.1
15	200.0	269.8	303.4

20	160.1	216.0	242.9
30	117.1	157.9	177.5
40	93.7	126.4	142.1
45	85.6	115.4	129.8
60	68.5	92.4	103.9

Tabella 3-9: Bacino B3: Lama Loc. Bosco dei Terzi, ramo 3

T_R	30	200	500
d [min]	h [mm]		
10	44.1	59.1	66.3
15	48.4	64.8	72.7
20	51.6	69.2	77.6
30	56.6	75.8	85.1
40	60.4	80.9	90.8
45	62.1	83.1	93.3
60	66.2	88.7	99.6

Tabella 3-10: Lama Loc. Bosco dei Terzi, ramo 4

T_R	30	200	500
d [min]	i [mm/h]		
10	228.5	296.0	328.8
15	167.0	216.4	240.3
20	133.7	173.2	192.4
30	97.7	126.6	140.6
40	78.3	101.4	112.6
45	71.4	92.6	102.8
60	57.2	74.1	82.3

Tabella 3-11: Reticolo n.5

T_R	30	200	500
d [min]	i [mm/h]		
10	233.4	303.8	337.9
15	170.6	222.0	246.9
20	136.6	177.8	197.7
30	99.8	129.9	144.5

40	79.9	104.0	115.7
45	73.0	95.0	105.6
60	58.4	76.0	84.6

Tabella 3-12: Bacino B6: Lama San Basilio

T _R	30	200	500
d [h]	i [mm/h]		
1	60.3	79.7	89.1
3	26.1	34.4	38.4
6	15.3	20.1	22.4
12	8.9	11.7	13.1
24	5.2	6.9	7.6

3.2 STIMA DELLE PRECIPITAZIONI NETTE SECONDO IL METODO SCS-CN

Il metodo *SCS-CN* del Soil Conservation Service è largamente utilizzato nei modelli afflussi-deflussi per l'interpretazione della dinamica temporale delle perdite idrologiche.

Scritta l'equazione di continuità nella forma:

$$Q(t) = P(t) - S'(t)$$

Dove $Q(t)$ [mm] è il volume defluito fino all'istante t , mentre $P(t)$ [mm] ed $S'(t)$ [mm] sono rispettivamente il volume affluito e il volume infiltrato fino al medesimo istante t , il modello *SCS-CN* ipotizza che sussista la seguente relazione di proporzionalità:

$$\frac{S'(t)}{S(t)} = \frac{Q(t)}{P(t)}$$

In cui S [mm] è il volume massimo immagazzinabile nel terreno a saturazione (detto anche capacità di campo) e viene fatto dipendere dal parametro *CN* a sua volta funzione delle caratteristiche del terreno, attraverso la relazione:

$$S = 254 \cdot \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

In cui S [mm] è il volume massimo immagazzinabile nel terreno a saturazione (detto anche capacità di campo).

Esplicitando la relazione di proporzionalità rispetto a $S'(t)$ e sostituendo poi nell'equazione di continuità si ottiene la relazione:

$$Q(t) = \frac{P^2(t)}{P(t) + S}$$

Che definisce l'andamento nel tempo del volume defluito $Q(t)$, noti il volume affluito $P(t)$ e il valore S .

Per tenere conto della parte di precipitazione che va ad invasarsi nelle depressioni superficiali, viene intercettata dalla copertura vegetale o si infiltra prima che il deflusso abbia inizio, il volume affluito viene rappresentato dal termine $P(t) - I_a$, essendo I_a [mm] la perdita iniziale (in inglese *Initial abstraction*). A sua volta, la perdita iniziale I_a , può essere stimata secondo il SCS come:

$$I_a = 0.2 \cdot S$$

L'equazione che fornisce il volume defluito in un assegnato intervallo temporale diventa così:

$$Q = \frac{(P - 0.2 \cdot S)^2}{(P + 0.8 \cdot S)}$$

Per determinare la quota di precipitazioni nette in grado di generare il deflusso in condizioni di evento di piena, si è ricavata inizialmente l'altezza di pioggia critica lorda per ciascun bacino, ovvero per evento pluviometrico critico, la cui durata è stata posta pari al tempo di corrivazione di bacino t_c , e "lorda" in quanto ancora non affetta dalle perdite idrologiche.

Applicando il modello SCS-CN, è possibile, conoscendo il valore del parametro CN_{medio} di ogni bacino e l'altezza di pioggia "lorda", ricavare la corrispondente altezza di pioggia al netto delle perdite per infiltrazione, ovvero h_{netta} [m], i cui valori sono riportati nella sottostante tabella.

Dall'altezza di pioggia netta, dividendo per la durata dell'evento si ottiene l'intensità di pioggia critica netta, il cui valore costituisce lo ietogramma di forma rettangolare (costante) di progetto, per ciascun bacino considerato.

ID	BACINO	t_{corr}	$h_{crit,lorda}$ [mm]		
		[min]	T_R 30	T_R 200	T_R 500
B1	Lama Bosco dei Terzi ramo1	109	97.4	131.4	147.8
B2	Lama Bosco dei Terzi ramo2	22	53.4	72.0	81.0
B3	Lama Bosco dei Terzi ramo3	45	62.1	83.1	93.3
B4	Lama Bosco dei Terzi ramo4	23	44.6	57.7	64.1
B5	Reticolo n.5	37	53.3	69.3	77.1
B6	Lama San Basilio	180	78.4	103.1	115.1

Tabella 3-13: Valori del parametro S [mm] e dell'altezza "netta" di pioggia h_{netta} [mm] dell'evento critico per assegnati tempi di ritorno

ID	BACINO	S	$h_{crit,netta}$ [mm]		
		[mm]	T_R 30	T_R 200	T_R 500
B1	Lama Bosco dei Terzi ramo1	85	39.2	65.8	79.5
B2	Lama Bosco dei Terzi ramo2	85	11.0	21.7	27.6
B3	Lama Bosco dei Terzi ramo3	85	15.7	29.0	36.2
B4	Lama Bosco dei Terzi ramo4	85	6.8	13.3	16.9
B5	Reticolo n.5	85	10.9	20.0	25.0
B6	Lama San Basilio	85	25.8	43.5	52.7

Tabella 3-14: Valori della durata critica θ_c [ore] e dell'intensità di pioggia inetta [mm] dell'evento critico per assegnati tempi di ritorno

ID	BACINO	θ_c	$i_{crit,netta}$ [mm/h]		
		[h]	T_R 30	T_R 200	T_R 500
B1	Lama Bosco dei Terzi ramo1	1.82	21.5	36.1	43.6
B2	Lama Bosco dei Terzi ramo2	0.37	29.8	59.1	75.0
B3	Lama Bosco dei Terzi ramo3	0.76	20.7	38.3	47.8
B4	Lama Bosco dei Terzi ramo4	0.39	17.5	34.1	43.4
B5	Reticolo n.5	0.62	17.7	32.5	40.6
B6	Lama San Basilio	3.01	8.6	14.5	17.5

3.3 IDROGRAMMI DI PIENA

L'afflusso delle portate attraverso un corso d'acqua deriva dalla durata dell'evento pluviometrico e dipende non solo dalla natura del suolo e dalla copertura vegetale ma anche dalle caratteristiche morfometriche del bacino sotteso.

Nell'ipotesi che la precipitazione sia estesa su tutto il bacino e caratterizzata da un'altezza h ed intensità media i , costante nel tempo, si raggiunge la portata massima quando alla sezione considerata confluiscono tutti i contributi provenienti da tutta la superficie del bacino. Questo intervallo di tempo è detto tempo di corrivazione. Nella Tabella 2-3 sono stati riportati i valori di tempo di corrivazione calcolati secondo alcune delle formulazioni più note in letteratura ed il valore medio utilizzato nei calcoli successivi.

Gli apporti di piena derivanti dal bacino scolante in esame vengono dunque definiti dal processo di trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi superficiali, rappresentati dall'idrogramma di piena.

Per determinare l'idrogramma di piena utilizzato nelle simulazioni idrauliche, è stato applicato il modello di corrivazione, denominato anche metodo aree-tempi, il cui parametro fondamentale è il tempo di corrivazione del bacino. L'idrogramma di piena viene approssimato da un triangolo, viene inoltre assunta l'ipotesi che la durata della precipitazione di progetto sia pari al tempo di corrivazione t_c . All'istante t_c , quando tutta la superficie del bacino concorre alla produzione del deflusso alla sezione di chiusura, la precipitazione cessa e la portata inizia a diminuire.

A seguire si riportano gli idrogrammi di piena triangolari caratteristici dei bacini interferenti con la strada di progetto.

Tabella 3-15: Portate di picco per i diversi tempi di ritorno

ID	BACINO	Q [mc/s]		
		T_R 30	T_R 200	T_R 500
B1	Lama Bosco dei Terzi ramo1	12.20	21.39	26.18
B2	Lama Bosco dei Terzi ramo2	0.42	0.82	1.04
B3	Lama Bosco dei Terzi ramo3	1.24	2.29	2.86

B4	Lama Bosco dei Terzi ramo4	1.01	1.98	2.52
B5	Reticolo n.5	2.29	4.20	5.24
B6	Lama San Basilio	22.95	73.61	113.67

