

S.S. 89 "GARGANICA"
LAVORI DI REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI SAN GIOVANNI ROTONDO E
REALIZZAZIONE DELL'ASTA DI COLLEGAMENTO DA SAN GIOVANNI ROTONDO AL
CAPOLUOGO DAUNO

1° stralcio - Manfredonia (km 172+000) - Aeroporto militare di Amendola (km 186+000)

PROGETTO DEFINITIVO

COD. BA28

PROGETTAZIONE: ANAS - STRUTTURA TERRITORIALE PUGLIA

IL PROGETTISTA E COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. Alberto SANCHIRICO

IL GEOLOGO

Dott. Pasquale SCORCIA

L'ARCHEOLOGA: Dott.ssa Grazia SAVINO

Elenco MIBACT n. 3856 – archeologa di 1° fascia ai sensi del D.M. 244/2019

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Rocco LAPENTA



IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica

CODICE PROGETTO			NOME FILE	REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	ANNO	TOO_ID00_IDR_RE01_A		
STBA0028	D	21	CODICE ELAB. TOO ID00 IDR RE01	A	-
A	EMISSIONE PER CDS		Apr. 2021	Ing. V. Vitucci	Arch. R. Sanseverino Ing. A. Sanchirico
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

Indice

1. INTRODUZIONE	2
1.1 CARATTERIZZAZIONE CLIMATICA DELL'AREA IN ESAME	3
1.2 IDROGRAFIA	4
2. PIANIFICAZIONE DI BACINO	7
2.1 PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO	7
2.2 PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI	12
3. PLUVIOMETRIA	16
3.1 METODO DI REGIONALIZZAZIONE DELLE PRECIPITAZIONI	16
3.1.1 <i>Il modello di probabilità TCEV</i>	16
3.1.2 <i>L'approccio regionale gerarchico</i>	18
3.1.3 <i>Stima delle curva di crescita</i>	20
3.1.4 <i>Il terzo livello di regionalizzazione</i>	21
3.1.5 <i>Risultati della regionalizzazione TCEV</i>	22
3.1.7 <i>Tabelle riassuntive e grafici</i>	26
3.2 ANALISI STATISTICA AL PLUVIOMETRO	28
3.2.1 <i>Dati di base</i>	28
3.2.1 <i>Metodologia</i>	34
3.2.2 <i>Risultati</i>	37
3.3 INTENSITÀ PER DURATE BREVI E CURVE INTERPOLANTI	40
3.4 CONFRONTO TRA I DUE APPROCCI	41
4. PORTATE DI PIENA SUI BACINI PRINCIPALI	43
4.1 METODOLOGIA ADOTTATA	43
4.2 CARATTERISTICHE DEI BACINI	44
4.3 PORTATE DI PIENA	48

1. INTRODUZIONE

La presente relazione idrologica descrive le metodologie adottate e i dati elaborati per determinare le precipitazioni di progetto e le portate di piena relative ai “Lavori di realizzazione della viabilità di San Giovanni Rotondo e realizzazione dell'asta di collegamento da San Giovanni Rotondo al Capoluogo Dauno - 1° stralcio - Manfredonia (km 172+000) - Aeroporto militare di Amendola (km 186+000)”, a livello di progettazione definitiva. La determinazione delle forzanti idrologiche di progetto è funzionale per il dimensionamento e la verifica di compatibilità idraulica delle opere di attraversamento idraulico e per il drenaggio del sistema viario relativamente alle sue diverse componenti.

Vengono delineate nel seguito le caratteristiche climatologiche e fisiografiche dell'area di progetto, in quanto utili alla determinazione delle portate con assegnato tempo di ritorno e al successivo dimensionamento.

Sono riportati i calcoli relativi alle sollecitazioni meteoriche, alle portate stimate in accordo con diversi tempi di ritorno. Per quanto riguarda le tematiche connesse agli effetti della realizzazione del progetto sul torrente Candelaro e alle variazioni sul profilo di rigurgito indotte dalla realizzazione della nuova opera, tali argomenti sono affrontati in una apposita relazione dedicata (Relazione di compatibilità idraulica del torrente Candelaro).

Nel capitolo 2 viene dato conto della Pianificazione di bacino (Piano di Assetto Idrogeologico elaborato dalla ex Autorità di Bacino della Regione Puglia) con riferimento ai territori interessati dalla realizzazione della infrastruttura. Vengono inoltre indicati i risultati degli elaborati della Pianificazione di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA), in ottemperanza a quanto previsto dalla Direttiva 2007/60/CE.

Nel capitolo 3 viene affrontato il problema della determinazione della precipitazione di progetto confrontando diversi approcci metodologici, in particolare l'approccio regionale secondo la metodologia VAPI e l'analisi del campione dei massimi di precipitazione registrati in due pluviometri limitrofi all'area di progetto (stazione di Manfredonia – piana di Siponto e stazione di Foggia - osservatorio). E' quindi eseguito un confronto tra le due tecniche.

Nel capitolo 4 vengono indicate le portate utilizzate nella modellazione e nel dimensionamento delle diverse opere e la metodologia adottata per il loro calcolo.

La valutazione dell'impatto della realizzazione dell'opera stradale ed in particolare delle interferenze con i processi naturali legati alla rete idrografica ha reso necessaria un'analisi idrologica accurata, estesa ad una vasta porzione di territorio, relativa sia alla caratterizzazione degli input meteorici di progetto sia alla definizione delle corrispondenti caratteristiche del deflusso.

La caratterizzazione della sollecitazione meteorica è stata effettuata attraverso l'approccio regionalistico, basandosi sui risultati della "Valutazione delle Piene in Puglia" –proposta da Copertino e Fiorentino, 1992. Essa adotta la metodologia di regionalizzazione della pluviometria tramite l'individuazione di aree omogenee relativamente ai parametri da adottare per la distribuzione di probabilità degli eventi critici, assunta una legge a doppia componente, di tipo TCEV.

Tale approccio è stato quindi confrontato con i risultati delle elaborazioni statistiche (regolarizzazione delle curva di caso critico e stima della Curva di Probabilità Pluviometrica) al pluviometro di Manfredonia e Foggia, che sono risultati i più limitrofi all'area di progetto.

Per la definizione degli eventi di progetto in termini di deflussi, sia per la rete idrografica principale che per quella secondaria, non essendo disponibile una significativa serie di misure di portata, si è ricorsi al metodo della trasformazione afflussi – deflussi secondo l'approccio riportato nel capitolo 4.

1.1 Caratterizzazione climatica dell'area in esame

Anche se con condizioni climatiche differenziate a seconda delle zone, possiamo dire che sia il promontorio del Gargano sia la regione settentrionale pugliese risentono del clima tipico del mediterraneo, con precipitazioni che si concentrano soprattutto nel periodo autunnale e invernale ed estati generalmente secche. Le precipitazioni piovose hanno un valore medio inferiore a quello medio italiano, pari a circa 550-650 millimetri l'anno nelle valli interne tra l'Appennino e il promontorio del Gargano, e nel vasto tratto di pianura che si estende tra San Severo e Foggia; di circa 900-1300 millimetri, in funzione dell'altitudine, nelle zone collinari e montuose del Gargano; di 400-500 millimetri, a valle, nelle zone di sud-est del Gargano stesso, con una piovosità minima nella fascia costiera più interna del golfo di Manfredonia (circa 400 mm). I venti atlantici provenienti da nord e nord ovest sono apportatori della maggiore quantità di umidità e delle

precipitazioni. Notevole, nelle zone rivolte a sud l'influenza dei venti di Scirocco, in genere assai caldi e secchi.

1.2 Idrografia

Nonostante la piovosità delle zone collinari e montuose (segnatamente l'Appennino Dauno e il promontorio del Gargano), l'idrografia superficiale non è particolarmente sviluppata e presenta un carattere marcatamente torrentizio. Sul Gargano è del tutto assente l'ambiente fluviale e non esiste un vero e proprio reticolo idrografico superficiale, fatta eccezione per una piccola area settentrionale del promontorio, dove si concentrano i pochi corsi d'acqua di limitata lunghezza e portata, quasi tutti affluenti dei due laghi costieri di Lesina e Varano. Notevole invece l'idrografia sotterranea, data la conformazione del territorio di tipo carsico, con fortissima permeabilità per fessurazione delle rocce, e sottosuolo caratterizzato da grandi cavità e inghiottitoi.

La regione settentrionale del Tavoliere, da un punto di vista geologico ancora dominata dalle formazioni calcaree, presenta tuttavia un reticolo idrografico superficiale solo in parte definito, sempre a regime torrentizio. Lo sviluppo limitato del reticolo idrografico è da imputarsi alla natura calcarea dei terreni, cui si accompagnano fenomeni di carsismo.

In figura 1.1 sono riportate le principali linee d'acqua sull'area di intervento; si identificano in particolare delle linee che attestano la presenza, almeno stagionale, di corsi d'acqua in corrispondenza dello svincolo ad inizio lotto; allo svincolo di San Leonardo, oltre a diversi piccoli tributari ubicati in sponda sinistra del torrente Candelaro, che incidono trasversalmente la valle del Candelaro stesso.

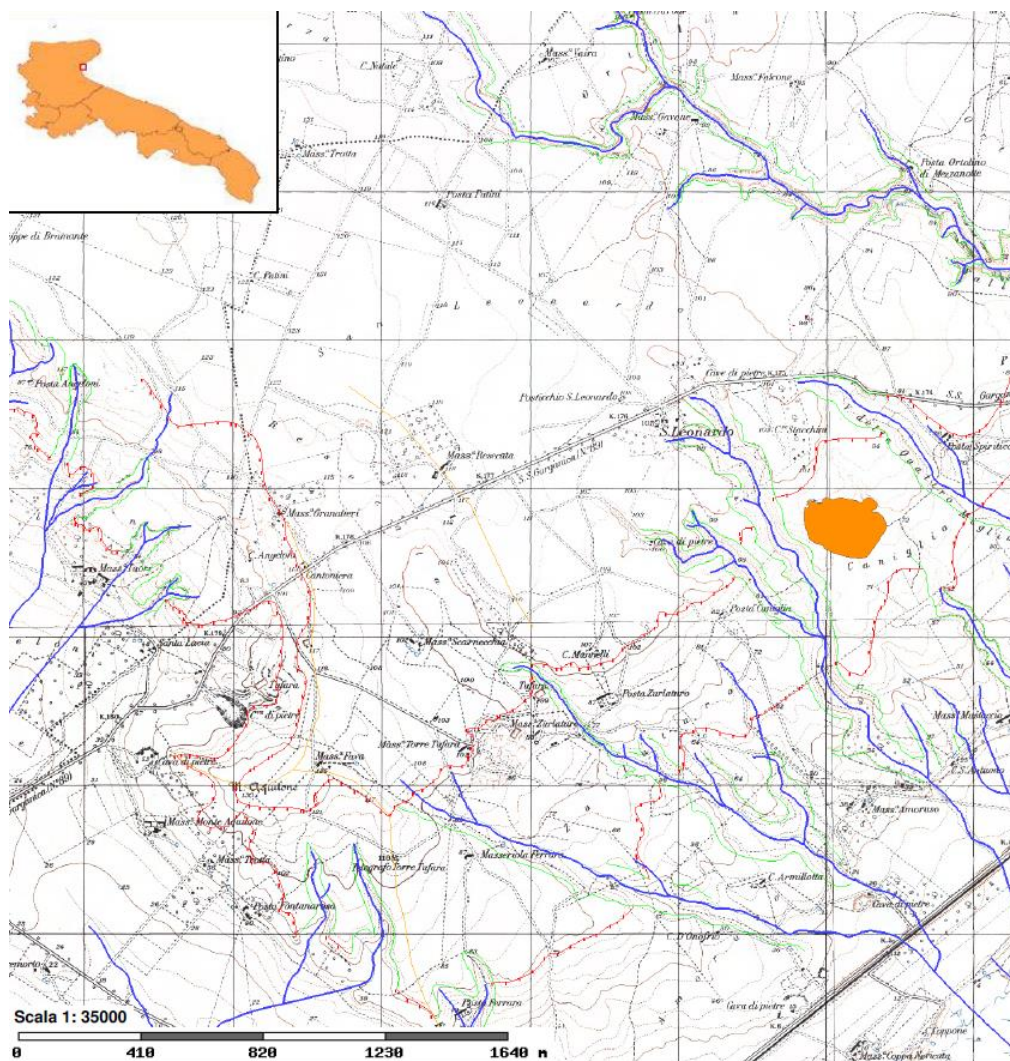


Figura 1.1 – Stralcio estratto dal Webgis regionale con l'identificazione del reticolo idrografico – Autorità di Bacino Regionale della Puglia (estratto 1)

Il principale corso d'acqua della regione è il torrente Candellaro, che viene interferito dall'intervento di progetto, e che risulta impostato sul tipico ambiente geomorfologico del Tavoliere delle Puglie. Solo le parti più montane dei corsi d'acqua risultano incise, peraltro per brevi tratti, nei terreni fliscoidi appartenenti alle unità del bordo orientale della catena appenninica.

Il torrente Candellaro scorre ai piedi del Gargano con direzione NO-SE in corrispondenza di una faglia di distensione instauratasi durante l'emersione del Promontorio. Ha una lunghezza di 67 km e accoglie, alla foce, le acque di un bacino di 2050 km². Il versante sinistro risulta poco sviluppato, mentre molto più esteso è il versante destro solcato da diversi affluenti: il Celone, il Salsola e il Triolo.

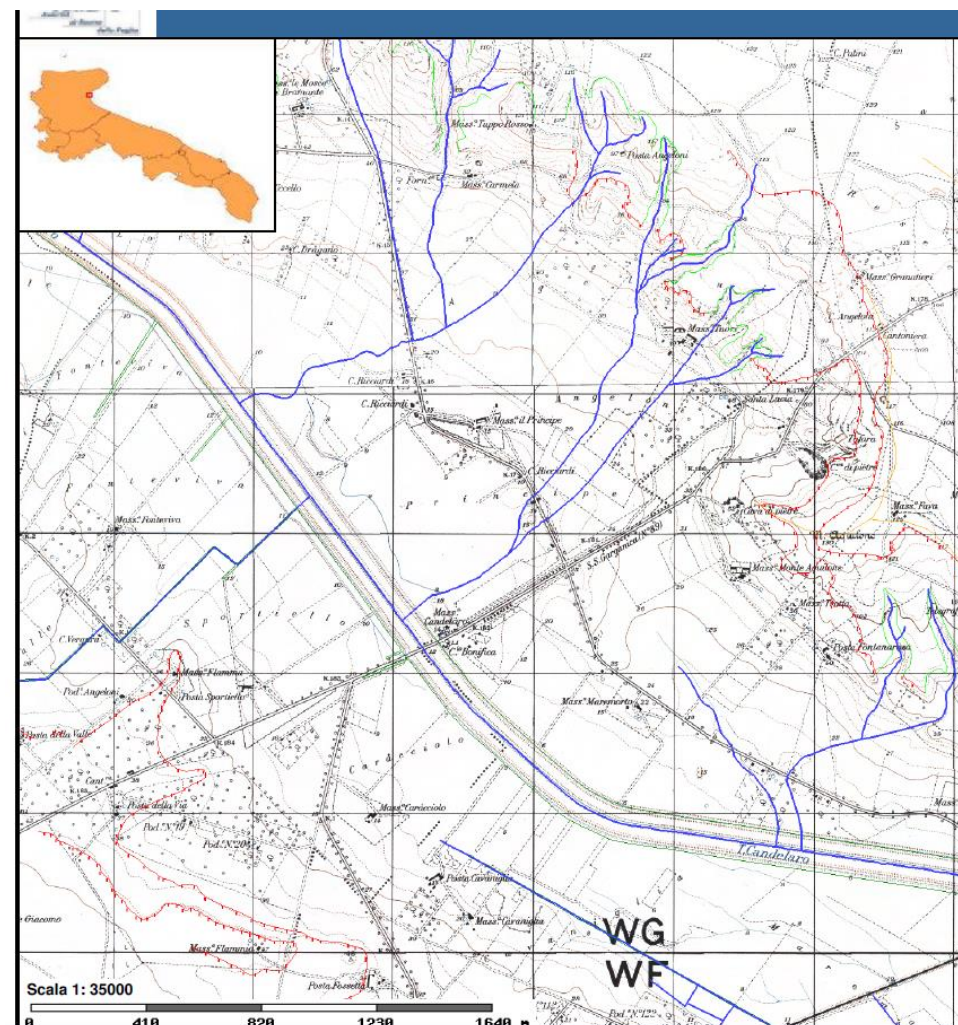


Figura 1.2 – Stralcio estratto dal Webgis regionale con l'identificazione del reticolo idrografico – Autorità di Bacino Regionale della Puglia (estratto 2)

Ad eccezione del torrente Candelaro, nessun altro corso d'acqua perenne risulta interferito dall'infrastruttura di progetto relativamente al tratto in sovrapposizione con l'attuale S.S. 89; vengono tuttavia considerati, come evidenziato nella corografia dei bacini, diversi piccoli bacini versanti, disposti su entrambi i lati della SS89, la cui interferenza è stata risolta tramite opere di attraversamento circolare o scatolare.

E' inoltre presente una rete di canali di bonifica di cui fa parte – tra gli altri - il fosso di acque basse che corre lungo gli argini del Candelaro stesso.

2. PIANIFICAZIONE DI BACINO

Dal punto di vista della Pianificazione idraulica, l'area ove insiste l'infrastruttura di progetto rientra nell'ambito delle perimetrazioni effettuate dalla ex Autorità di Bacino della Puglia (Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico della AdB interregionale della Puglia) ai sensi della legge 183/1989 sulla difesa del suolo e delle modifiche introdotte dalle legge 493/93 sui piani stralcio; il bacino del Candelaro rientra inoltre nell'ambito di competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale e delle misure previste nel Piano Di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) ai sensi ed in attuazione del D. Lgs. 49/2010, emanato in recepimento della Direttiva Alluvioni (2007/60/CE).

2.1 Piano di Assetto Idrogeologico

Il territorio della ex AdB Puglia comprende sia aree caratterizzate prevalentemente da bacini esoreici (il Gargano, l'Ofanto e i fiumi della Capitanata, i bacini carsici della terra di Bari, del brindisino e dell'arco ionico) e da una seconda parte a carattere endoreico che si sviluppa principalmente nel Salento e copre circa il 20% dell'intero territorio, come meglio descritto in seguito; il torrente Candelaro rientra nel primo gruppo di bacini, con manifestazioni di tipo principalmente esoreico.

Il PAI dell'Autorità di Bacino della Puglia “[...] costituisce Piano Stralcio del Piano di Bacino, ai sensi dall'articolo 17 comma 6 ter della Legge 18 maggio 1989, n. 183, ha valore di piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo ricadente nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia.”

Esso fornisce, tra l'altro

- “ a) il quadro conoscitivo organizzato ed aggiornato del sistema fisico, delle utilizzazioni del territorio previste dagli strumenti urbanistici comunali ed intercomunali, nonché dei vincoli, relativi al bacino;
- b) l'individuazione e la quantificazione delle situazioni, in atto o potenziali, di degrado del sistema fisico, nonché delle relative cause;
- c) le direttive alle quali devono uniformarsi la difesa del suolo, la sistemazione idrogeologica ed idraulica e l'utilizzazione delle acque e dei suoli;

...

k) l'indicazione delle zone da assoggettare a speciali vincoli e prescrizioni in rapporto alle specifiche condizioni idrogeologiche, ai fini della conservazione del suolo, della tutela dell'ambiente e della prevenzione contro presumibili effetti dannosi di interventi antropici".

L'individuazione delle aree a pericolosità da alluvione è avvenuta nell'ambito delle procedure di adozione del PAI, adottato con Delibera del Comitato Istituzionale n. 25 del 15/12/2004. Nella fase di adozione il PAI è stata effettuata la perimetrazione delle aree storicamente inondate, principalmente attraverso le informazioni archiviate dal Gruppo nazionale per la difesa delle catastrofi idrogeologiche del Consiglio nazionale delle ricerche (GNDCI-CNR), nell'ambito del progetto Aree vulnerate italiane (AVI), con la successiva interpretazione geomorfologica. Le aree così individuate sono state ascritte alla classe più alta di pericolosità idraulica. Hanno fatto eccezione i bacini pilota dei fiumi Lato e Lenne, nell'area della provincia di Taranto, rispetto ai quali è stato effettuato uno studio idrologico ed idraulico con la definizione delle aree a pericolosità idraulica corrispondenti a diversi tempi di ritorno di riferimento, adottando questi ultimi, analogamente alla metodologia di cui sopra, congruentemente alle indicazioni fornite dal D.P.C.M. 29.09.1998.

Successivamente, il PAI è stato approvato dal Comitato Istituzionale dell'AdBP interregionale con Delibera n. 39 del 30/11/2005; in seguito, lo strumento è stato soggetto a numerosi aggiornamenti, all'occorrenza del verificarsi di modifiche significative del quadro conoscitivo ovvero dello svolgimento di ulteriori studi ed approfondimenti anche su scala locale.

A partire dalle aree perimetrare con criteri storici nel PAI approvato sono stati condotti molti studi idrologici ed idraulici per la definizione delle aree di inondazione con tempo di ritorno di 30, 200 e 500 anni, cui corrispondono, rispettivamente, le aree di pericolosità idraulica alta (AP), media (MP) e bassa (BP). Attualmente, la cartografia delle perimetrazioni idrauliche allegata al PAI rappresenta unicamente l'estensione planimetrica delle aree a diversa pericolosità di inondazione, tuttavia, laddove corrispondano ad uno studio idrologico-idraulico, si conoscono le grandezze idrodinamiche, quali tirante, velocità e portata.

L'area in oggetto è stata oggetto di una variante al PAI della ex Autorità di Bacino della Puglia, adottata con Decreto Secretariale dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale del 7 Dicembre 2017, approvata con D.P.C.M. del 19 giugno 2019 e pubblicata in Gazzetta Ufficiale il 20 /08/2019.

Il PAI della Regione Puglia individua, dal punto di vista idraulico, le seguenti tipologie di aree perimetrare:

- Area ad alta pericolosità idraulica (A.P.): porzione di territorio soggette ad essere allagate per eventi di piena con tempo di ritorno inferiore o pari a 30 anni;

- Area a media pericolosità idraulica (M.P.): porzione di territorio soggette ad essere allagate per eventi di piena con tempo di ritorno compreso tra 30 e 200 anni;
- Area a bassa pericolosità idraulica (B.P.): porzione di territorio soggette ad essere allagate per eventi di piena con tempo di ritorno compreso tra 200 e 500 anni;

Gli interventi consentiti in tali aree sono stabiliti dalle norme tecniche di attuazione rispettivamente dagli articoli 7, 8 e 9.

Ai fini della tutela e dell'adeguamento dell'assetto complessivo della rete idrografica, il PAI individua le fasce di pertinenza fluviale.

All'interno delle fasce di pertinenza fluviale sono consentiti tutti gli interventi previsti dagli strumenti di governo del territorio, a condizione che venga preventivamente verificata la sussistenza delle condizioni di sicurezza idraulica, come definita all'art. 36, sulla base di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica subordinato al parere favorevole dell'Autorità di Bacino.

Viene inoltre stabilito che "Quando la fascia di pertinenza fluviale non è arealmente individuata nelle cartografie in allegato, le norme si applicano alla porzione di terreno, sia in destra che in sinistra, contermina all'area golenale, come individuata all'art. 6 comma 8, di ampiezza comunque non inferiore a 75 m.

Per la definizione del rischio, il PAI della AdB Puglia ha previsto l'adozione di due metodi diversi: l'applicazione di un metodo "completo" e di un metodo "semplificato".

Secondo il primo metodo, la matrice che fa corrispondere le diverse classi di rischio (da R1 a R4) in funzione della pericolosità idraulica e del valore dei beni esposti è rappresentato dalla seguente tabella:

CLASSI DI RISCHIO		CLASSI DI PERICOLOSITA' IDRAULICA		
		AP	MP	BP
ELEMENTI A RISCHIO	E5	R4	R3	R2
	E4	R4	R3	R2
	E3	R3	R2	R1
	E2	R2	R2	R1
	E1	R2	R1	R1

Tabella 2.1 – matrice di assegnazione del rischio idraulico (matrice completa)

Secondo il secondo metodo, l'attribuzione semplificata del rischio avviene in accordo con la seguente tabella:

CLASSI DI RISCHIO		CLASSI DI PERICOLOSITA' IDRAULICA	
		AP	MP
ELEMENTI A RISCHIO	E5 - E4	R4	R3

Tabella 2.2 – matrice di assegnazione del rischio idraulico (matrice semplificata)

L'area in corrispondenza dell'attuale attraversamento del torrente Candelaro con la S.S. 89 è caratterizzato dalla perimetrazioni di aree a media ed alta pericolosità idraulica, come evidenziato dalla figura 2.1. Per tale motivo, l'intervento in corrispondenza del nuovo viadotto Candelaro sulla S.S.89 "Garganica" è oggetto ad approvazione da parte della competente autorità a livello regionale, ai sensi dell'articolo 6 delle Norme Tecniche di Attuazione del PAI della Autorità di Bacino della Puglia.

L'estratto della perimetrazione del rischio per l'area in esame è riportata nella figura 2.2 che mostra, tuttavia, l'assenza di aree soggette a perimetrazione del Rischio in corrispondenza dell'attraversamento considerato.

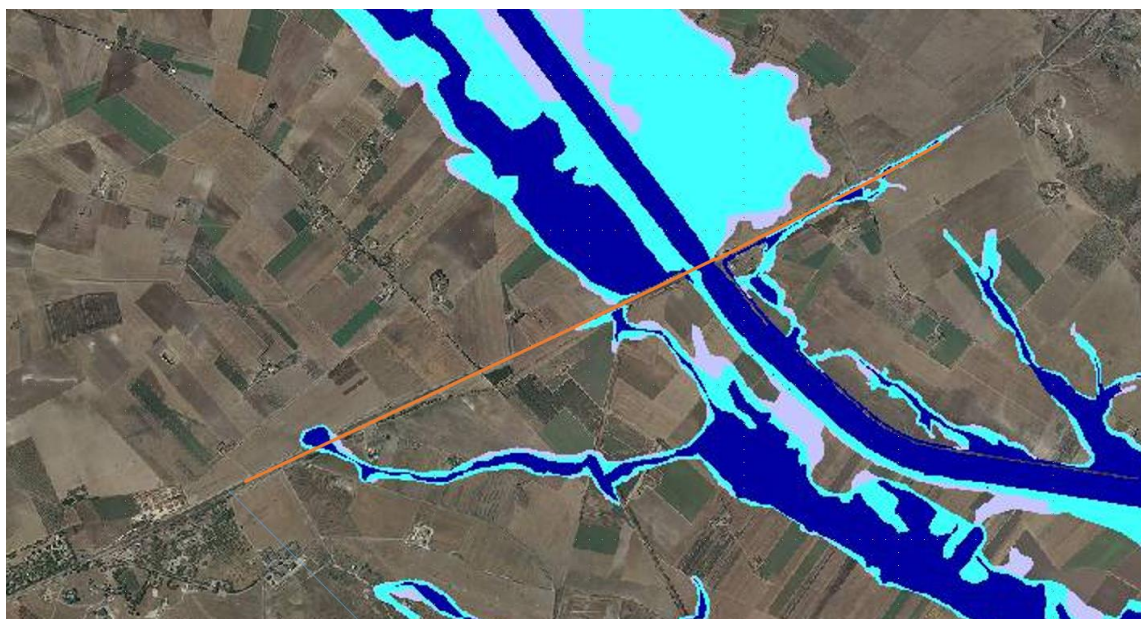


Figura 2.1 – Estratto dalla mappa della pericolosità idraulica desunta dal Piano di Assetto Idrogeologico del torrente Candelaro in corrispondenza della S.S.89 (tracciata con una spezzata di colore arancione)

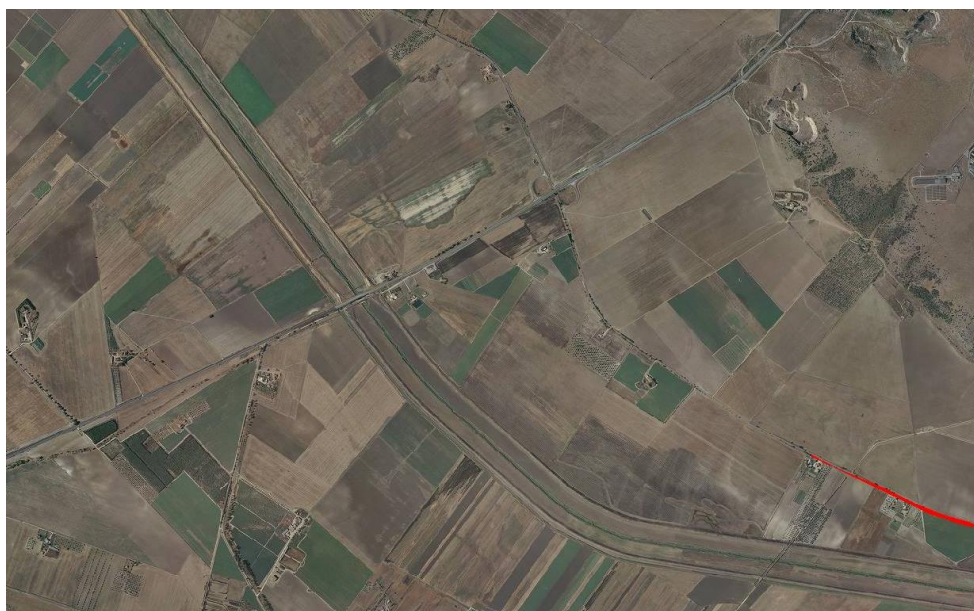


Figura 2.2 – Estratto dalla tavola del Rischio idraulico desunta dal Piano di Assetto Idrogeologico del torrente Candelaro in corrispondenza della S.S.89; l'unico elemento perimetrato è un canale secondario posto a valle dell'attraversamento, non interessato dall'infrastruttura.

2.2 Piano di Gestione del Rischio Alluvioni

La direttiva 2007/60 è stata recepita in Italia dal D.Lgs. 49/2010, che ha introdotto il *Piano di Gestione Rischio Alluvioni* (PGRA), da predisporre per ciascuno dei distretti idrografici individuati nell'art. 64 del D.Lgs. 152/2006, contenente il quadro di gestione delle aree soggette a pericolosità e rischio individuate nei diversi distretti, delle aree dove possa sussistere un rischio potenziale significativo di alluvioni e dove esso si possa generare in futuro, nonché delle zone costiere soggette ad erosione.

Il D.Lgs. 23 febbraio 2010 n.49 tiene conto delle Direttive comunitarie collegate e della vigente normativa nazionale riguardante sia la pianificazione dell'assetto idrogeologico (tra cui il D.Lgs. 152/2006) sia il sistema di Protezione civile. Attualmente si è concluso il primo ciclo di pianificazione con durata sestennale ed è iniziata l'attività del secondo ciclo, con la Valutazione Preliminare del Rischio.

Le scadenze del primo ciclo (2010-2015), sono state ricondotte a tre fasi così articolate:

- a. l'individuazione preliminare di rischio (2011) – art. 4 del D.Lgs. 49/2010;
- b. l'elaborazione di mappe della pericolosità e rischio (2013) – art. 6 del D.Lgs. 49/2010;
- c. la pubblicazione del piano (2015) – art. 7 del D.Lgs. 49/2010.

I piani contengono quanto indicato all'art. 7 del D.Lgs. 49/2010 e gli elementi indicati nell'Allegato I parte A del suddetto decreto (sostanzialmente in linea con quanto indicato dall'Allegato della Direttiva 2007/60/CE). Per la redazione del PGRA nel corso del 1° ciclo di attuazione, la Competent Authority è stata l'Autorità di Bacino Interregionale della Puglia; l'elenco delle Competent Authorities è riportato nel seguito:

UNIT OF MANAGEMENT (UOM)		COMPETENT AUTHORITY (CA)		Regioni comprese nel DAM
CODICE	NOME	CODICE	NOME	SPECIFICA
ITN005	Liri Garigliano	ITADBN902	AdB Nazionale dei fiumi Liri Garigliano e Volturno	Abruzzo, Lazio, Campania
ITN011/ITR155	Volturno/ Regionale Campania			Campania, Molise, Puglia
2 Unit of Management (UoM)		1 Competent Authority		
ITR171	Basento, Cavone, Agri	ITADBR171	AdB Interregionale Basilicata	Basilicata
ITI 012	Bradano			Basilicata, Puglia
ITIO29	Noce e bacini lucani tirrenici			Basilicata, Calabria
ITIO24	Sinni e San Nicola			Basilicata, Calabria
4 Unit of Management (UoM)		1 Competent Authority		
ITR161I020	Regionale Puglia/Ofanto	ITADBR161	AdB Interregionale Puglia	Puglia, Basilicata, Campania
1 Unit of Management (UoM)		1 Competent Authority		
ITIO15	Fortore	ITADBI902	AdB Interregionale dei fiumi Trigno, Biferno e Minori, Saccione e Fortore	Molise, Campania, Puglia
ITIO22	Saccione			Molise, Puglia
ITIO27	Trigno			Molise, Abruzzo
ITR141	Regionale Molise			Molise

Tabella 2.3 - Individuazione della Competent Authority e identificazione della U.o.M per il torrente Candelaro nell'ambito di quelle afferenti all'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale

L'art. 6 del D.Lgs. 49/2010 fornisce indicazioni sui criteri di riferimento per la determinazione dei livelli di pericolosità di cui ai comma 2, 3 e 4 del Decreto medesimo.

Le mappe della pericolosità da alluvione contengono, evidenziando le aree in cui possono verificarsi fenomeni alluvionali con elevato volume di sedimenti trasportati e colate detritiche, la perimetrazione delle aree geografiche che potrebbero essere interessate da alluvioni secondo i seguenti scenari:

- a) alluvioni rare di estrema intensità: tempo di ritorno fino a 500 anni dall'evento (bassa probabilità);
- b) alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno fra 100 e 200 anni (media probabilità);
- c) alluvioni frequenti: tempo di ritorno fra 20 e 50 anni (elevata probabilità).

Per ogni scenario di cui al comma 2 vanno indicati almeno i seguenti elementi:

- a) estensione dell'inondazione;
- b) altezza idrica o livello;

c) caratteristiche del deflusso (velocità e portata).

Per l'area ubicata in corrispondenza dell'intervento la tavola di riferimento è la numero 90 come indicato nel quadro d'insieme riportato sotto.

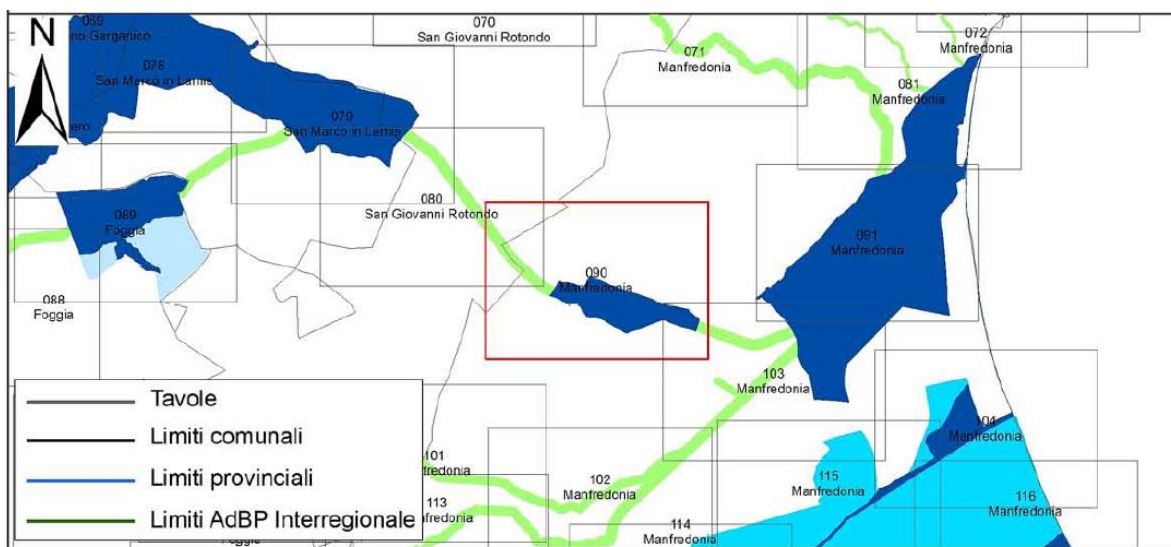


Figura 2.3 – Quadro d'insieme delle tavole del PGRA dell'Appennino Meridionale – U.o.M. AdB Interregionale Puglia con evidenziata la tavola 90.

In corrispondenza dell'attraversamento il flusso della portata per scenari di media ed elevata pericolosità appaiono contenuti all'interno della fascia fluviale, che si sovrappone al tracciato arginale, suggerendo quindi che in corrispondenza dell'attraversamento della attuale S.S.89 la piena con tempi di ritorno di 200 e 500 anni sono contenute all'interno degli argini.



Legenda

PERICOLOSITA' IDRAULICA






-  AP - Aree ad alta pericolosità
-  MP - Aree a media pericolosità
-  BP - Aree a bassa pericolosità
-  Fasce fluviali
-  Sezione trasversale di calcolo con valori massimi di tirante h in m, velocità v in m/s, portata q in m³/s

Figura 2.4 – estratto della tavola 90 della Mappa di Pericolosità Idraulica del PGRA dell'Appennino Meridionale – U.o.M. AdB Interregionale Puglia – Tavola 90

3. PLUVIOMETRIA

Nel seguito vengono descritte le due metodologie utilizzate per la determinazione del clima di possibilità pluviometrica di progetto e i relativi risultati:

- metodo di regionalizzazione delle precipitazioni
- analisi statistica sui pluviometri dell'area di progetto.
- riduzione delle precipitazioni orarie alle brevi durate

3.1 Metodo di regionalizzazione delle precipitazioni

3.1.1 Il modello di probabilità TCEV

L'introduzione del modello TCEV deriva dalla constatazione che i dati osservati dei massimi annuali delle grandezze idrologiche presentano frequentemente valori molto intensi che non sono interpretabili con le usuali leggi probabilistiche, e fanno pensare che gli eventi si distribuiscano secondo due differenti popolazioni: una più numerosa, con valori più contenuti, l'altra costituita da pochi dati estremamente più elevati (outliers). Ciò ha suggerito di interpretare i dati con un modello più versatile rispetto agli usuali modelli utilizzati nell'idrologia statistica (per es. Gumbel), il quale potesse rappresentare matematicamente il campione storico degli eventi compresi i fuori scala.

Il modello TCEV, proposto da Rossi e Versace (1982) e successivamente sviluppato da vari autori (Versace e al., 1982; Rossi e al., 1984; Fiorentino e al., 1984, 1985 e 1987; Arnell e Gabriele, 1985, 1986, 1988a, 1988b, 1991; Gabriele e Iritano, 1994), trova le sue basi teoriche nell'analisi del processo dei valori superiori ad una soglia.

Il modello ipotizza che i valori estremi delle grandezze idrologiche, precipitazioni o portate, non provengano tutti da una stessa popolazione, ma da due diverse popolazioni legate a differenti fenomeni meteorologici, come in effetti riscontrato nelle serie storiche delle osservazioni.

La distribuzione TCEV si esprime:

$$F_X(x) = \exp [-\Lambda_1 \exp(-x/\Theta_1) - \Lambda_2 \exp(-x/\Theta_2)] ; x \geq 0 \quad (1)$$

I quattro parametri hanno un significato fisico, corrispondendo al numero medio di eventi indipendenti superiori ad una soglia (Λ_1 e Λ_2) e al loro valore medio (Θ_1 e Θ_2), rispettivamente per la componente di base e per quella straordinaria.

Di norma si ammettono i seguenti vincoli

$$\Theta_2 > \Theta_1 > 0 \quad ; \quad \Lambda_1 > \Lambda_2 > 0;$$

i quali indicano che la componente "ordinaria" è più frequente ma mediamente meno intensa di quella "straordinaria".

La variabile X può essere sostituita dalla variabile standardizzata:

$$Y = (X/\Theta_1) - \ln \Lambda_1 \quad (2)$$

ottenendo la cosiddetta distribuzione TCEV standardizzata, e posto

$$\Theta_* = \Theta_2/\Theta_1 \quad (3)$$

$$\Lambda_* = \Lambda_2/\Lambda_1^{1/\Theta_*} \quad (4)$$

la variabile casuale Y ha una funzione di ripartizione pari a:

$$F_Y(y) = \exp [-\exp(-y) - \Lambda_* \exp(-y/\Theta_*)] \quad (5)$$

che è una TCEV standardizzata a 2 parametri (Λ_* e Θ_*).

Sia la TCEV nella configurazione originaria che quella standardizzata sono invertibili solo numericamente, non analiticamente. Il problema è tuttavia facilmente avviabile tramite un elaboratore numerico anche senza ricorrere alle formule approssimate di inversione.

I momenti teorici della TCEV di ordine r rispetto all'origine sono espressi nella forma:

$$\mu_r = m_r + \Theta_1^r \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda_*^j}{j!} \sum_{k=1}^r (-1)^k k \binom{r}{k} (\ln \Lambda_1)^{r-k} \Gamma^{(k-1)} \left(\frac{j}{\Theta_*} \right) \quad (6)$$

con:

$$m_r = \Theta_1^r \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k \binom{r}{k} (\ln \Lambda_1)^{r-k} \Gamma^k(1)$$

in cui $\Gamma^{(k)}$ è la k-esima derivata della funzione gamma.

Utilizzando la relazione (6) risulta che:

- il coefficiente di asimmetria teorico dipende solo da Θ^* e Λ^* , ed è quindi indipendente da Θ_1 e Λ_1 ;
- il coefficiente di variazione teorico dipende solo da Λ_1 , Θ^* e Λ^* , ed è quindi indipendente da Θ_1 ;
- il coefficiente di variazione teorico della sola componente di base CV1 dipende esclusivamente dal parametro Λ_1 attraverso l'espressione:

$$CV_1 = \frac{\pi\sqrt{6}}{\gamma_\varepsilon + \text{Ln}\Lambda_1} = \frac{0.557}{0.271 + \text{Log}\Lambda_1} \quad (7)$$

3.1.2 L'approccio regionale gerarchico

La particolarità del modello proposto dal VAPI non si limita alla struttura a doppia componente della distribuzione, ma si estende alla stima dei suoi parametri che avviene per fasi successive cui corrispondono altrettante scale spaziali.

Il modello TCEV consente infatti un'analisi regionale mediante un approccio gerarchico a tre livelli, in cui vengono identificate porzioni di territorio, di estensione via via più limitata, nelle quali è possibile stabilire un numero crescente di relazioni tra i parametri della distribuzione e i caratteri climatici e geografici dei bacini inclusi.

Questa procedura consente di:

- *individuare regioni omogenee rispetto al coefficiente di asimmetria teorico, fissando in questo modo Λ^* e Θ^* (primo livello di regionalizzazione); tale ipotesi coincide concettualmente con il fissare regioni omogenee rispetto alle caratteristiche della relazione tra numerosità e intensità degli eventi ordinari e numerosità e intensità di quelli*

straordinari. La stima dei coefficienti di asimmetria avviene attraverso lo stimatore indistorto del coefficiente di asimmetria CA

$$CA = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum \frac{(x_j - x_M)^3}{s};$$

- individuare zone, all'interno delle regioni, omogenee rispetto al coefficiente di variazione teorico, fissando in questo modo, per ciascuna regione, il valore di Λ_1 (ossia la numerosità media degli eventi non straordinari); la stima dei coefficienti di variazione avviene attraverso lo stimatore indistorto del coefficiente di variazione:

$$CV = \frac{1}{x_M} \sqrt{\sum \frac{(x_j - x_M)^2}{(n-1)}};$$

- individuare sottozone caratterizzate da una relazione univoca tra l'ultimo parametro Θ_1 (fissando così la media delle intensità degli eventi ordinari) ed alcuni fattori geo-morfo-climatici dei bacini appartenenti, ovvero stimare tramite tecniche statistiche di tipo Kriging le sottozone omogenee rispetto a tale parametro Θ_1 permettendo la valutazione del parametro per tutti siti, anche se privi di osservazioni dirette, appartenenti alla sottozona omogenea.

In una regione omogenea, essendo costanti Θ_* e Λ_* , la variabile standardizzata Y risulta uniformemente distribuita, e risulta di conseguenza determinato il rapporto tra le componenti ordinarie e straordinarie della precipitazione.

In una zona omogenea, invece, risulta costante la distribuzione del fattore di crescita $k = X/\mu$, ovvero della grandezza idrologica X adimensionalizzata attraverso il suo valor medio. La funzione di crescita è data dall'espressione:

$$F_K(k) = \exp[-\Lambda_1 \exp(-\eta k) - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\Theta_*} \exp(-\eta k / \Theta_*)] \quad (8)$$

In cui $\eta = C + \ln(\Lambda_1) - T_0$

Con $C = 0.5772$ costante di Eulero e

$$T_0 = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(-1)^i \Lambda_*^i}{i!} \Gamma\left(\frac{i}{\Theta_*}\right).$$

All'interno di una sottozona si ammette invece che la distribuzione della variabile idrologica sia la stessa, eventualmente in dipendenza da un parametro geomorfologico.

3.1.3 Stima delle curva di crescita

La metodologia basata sulle curve di crescita è equivalente all'ammissione dell'uniformità spaziale dei parametri adimensionali caratteristici della distribuzione: coefficienti di variazione, di asimmetria, di curtosi. Nell'impossibilità di stabilire in modo non confutabile quale delle ipotesi (omogeneità/disomogeneità spaziale) sia quella più prossima alla realtà del fenomeno fisico, l'assunzione dell'ipotesi di omogeneità equivale ad accettare una comune convenzione sulla quale esiste un sufficiente grado di accordo.

Nell'analisi dei massimi annuali delle piogge giornaliere la prima ipotesi presa in considerazione è stata quella di ritenere la Puglia settentrionale un'unica regione omogenea rispetto ai parametri Λ_* e Θ_* ; l'ipotesi non è stata rigettata a livello statistico.

Il primo livello di regionalizzazione è stato effettuato applicando una procedura di tipo iterativo di massima verosimiglianza, consentendo di ottenere le seguenti stime

$\Lambda_* = 0.772$	$\Theta_* = 2.352$
---------------------	--------------------

I valori Λ_* e Θ_* sono stati assunti indipendenti dalla durata della pioggia

Al secondo livello di regionalizzazione, assunti i valori di Λ_* e Θ_* stabiliti al primo livello, il valore di Λ_1 è stato ottenuto tramite il calcolo del coefficiente di variazione CV secondo la (7). L'appartenenza di una stazione pluviometrica ad una sottozona omogenea (ipotesi di omogeneità) è stata accettata dopo il controllo statistico del χ^2 . Sono stati così stimati i parametri Λ_1 e η della (8):

$\Lambda_1 = 45$	$\eta = 5.662$
------------------	----------------

I valori Λ_1 e η sono stati assunti indipendenti dalla durata della pioggia.

Risultano così definiti in maniera univoca, e dipendenti dal solo tempo di ritorno ma non dalla durata, i parametri regionali dei coefficienti di crescita $K(T)$ validi per la Puglia settentrionale, riportati nella tabella seguente:

T ritorno	2	5	10	20	30	40	50	100	200	500	1000
$K(T)$	0.911	1.261	1.531	1.812	1.978	2.097	2.190	2.477	2.765	3.146	3.434

3.1.4 Il terzo livello di regionalizzazione

Al terzo livello di regionalizzazione viene definito per ciascuna sottozona omogenea il parametro che rappresenta la media dell'intensità degli eventi cosiddetti "ordinari", Θ_1 .

Per la regione Puglia è stata applicata al terzo livello di regionalizzazione la procedura VAPI standard con relazione ADF a 2 parametri.

Si ipotizza che in ciascuna sottozona omogenea sussista una relazione esponenziale tra l'altezza media giornaliera e la quota z della stazione:

$$\mu_{hd} = e^{cz+d} \quad (\S)$$

I parametri c e d sono calcolati per regressione lineare sui valori determinati in tutte le stazioni della sottozona. Per le relazioni ADF è adottata una relazione monomia a 2 parametri (a ed n):

$$h_{\delta}(T) = a(T)\delta^n \quad (\S\S)$$

da cui si ha che il valor medio di h_d corrisponde a :

$$\mu_{hd} = \mu_{h1}\delta^n ;$$

ipotizzando che

- il rapporto tra l'altezza giornaliera e quella delle 24 ore sia pari a 0.89;
- il valor medio della massima altezza oraria non dipenda dall'altitudine;

si ottiene l'espressione di n

$$n = \frac{cz + d + \ln \eta - \ln \mu_{h1}}{\ln 24} \quad (\S\S\S)$$

Se non si riscontra una significativa dipendenza di n dalla quota z , l'espressione di n diviene:

$$n = \frac{\mu_{h\delta} + \ln \eta - \ln \mu_{h1}}{\ln 24} \quad (\S\S\S\S)$$

3.1.5 Risultati della regionalizzazione TCEV

La procedura TCEV esposta nei paragrafi precedenti è stata applicata all'area interessata dalla realizzazione dell'adeguamento della S.S. 89 (Foggia – Manfredonia). L'area in questione limitatamente al terzo livello di regionalizzazione, è risultata appartenere alla zona 2 ove ricadono l'adeguamento della S.S. 89 e la variante della S.S. 273.



Figura 3.1– Sottozone omogenee al terzo livello di regionalizzazione

Caratteristiche della sotto-Zona 2

Nella zona 2 non si è individuata una significativa variazione della pluviometria con la quota, il valore dell'esponente n è dato dalla (§§§§). Si ottiene:

$$n = 0.247$$

$$a = 22.2$$

Tramite i coefficienti di crescita si sono così ottenuti i valori delle altezze e delle intensità di precipitazione per le varie durate e i vari tempi di ritorno, riportati nelle tabelle che seguono:

	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
2	20.23	26.53	31.49	37.37	44.35
5	27.98	36.71	43.56	51.70	61.35
10	33.99	44.59	52.92	62.80	74.53
20	40.22	52.76	62.61	74.30	88.17
30	43.92	57.61	68.37	81.13	96.28
40	46.56	61.07	72.47	86.01	102.07
50	48.61	63.76	75.67	89.80	106.57
100	54.99	72.14	85.61	101.60	120.57
200	61.39	80.53	95.56	113.41	134.59
500	69.84	91.62	108.73	129.03	153.12
1000	76.24	100.01	118.68	140.84	167.14

Sottozona omogenea "2" (Tavoliere delle Puglie) altezze di precipitazione ricavate tramite la procedura di regionalizzazione TCEV

	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
2	20.23	8.84	5.25	3.11	1.85
5	27.98	12.24	7.26	4.31	2.56
10	33.99	14.86	8.82	5.23	3.11
20	40.22	17.59	10.43	6.19	3.67
30	43.92	19.20	11.39	6.76	4.01
40	46.56	20.36	12.08	7.17	4.25
50	48.61	21.25	12.61	7.48	4.44
100	54.99	24.05	14.27	8.47	5.02
200	61.39	26.84	15.93	9.45	5.61
500	69.84	30.54	18.12	10.75	6.38
1000	76.24	33.34	19.78	11.74	6.96

Sottozona omogenea "2" (Tavoliere delle Puglie) intensità di precipitazione ricavate tramite la procedura di regionalizzazione TCEV

3.1.6 Curve di probabilità pluviometrica

A partire dai dati riportati nel paragrafo precedente (ottenuti tramite la regionalizzazione TCEV) si è proceduto all'extrapolazione di curve analitiche IDF di tipo tradizionale, comuni nella pratica idrologica.

Poiché per il dimensionamento delle opere di drenaggio della sede stradale, l'intensità critica cui far riferimento è spesso quella relativa ad un tempo di corrivazione t_c dell'ordine di pochi minuti, si è provveduto ad elaborare curve IDF (intensità-durata-frequenza) a 3 parametri, evitando l'inconveniente delle curve a 2 parametri che presentano una intensità tendente all'infinito per tempi di corrivazione tendenti a 0 (con conseguente sovrastima delle intensità di progetto).

La regolarizzazione dei dati pluviometrici riferiti alle durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore è stata eseguita assumendo per l'intensità di pioggia i in corrispondenza di un certo tempo di ritorno T e per un tempo di pioggia t l'espressione

$$i(T, t) = \frac{a(T)}{(b + t)^m} \quad (9)$$

Tale espressione, per $t \rightarrow 0$ fornisce un'intensità pari a

$$i(T, 0) = \frac{a(T)}{b^m} \quad (10)$$

La metodologia di interpolazione adottata per la determinazione delle curve di possibilità pluviometrica è quella di seguito espressa.

Fissato un valore di prima approssimazione per il parametro b che caratterizza la trasformazione temporale, e per il valore dell'esponente della curva di caso critico m , risultano determinati i coefficienti $a(T)$ per ciascun tempo di ritorno e della durata t in funzione delle intensità orarie di pioggia:

$$a(T, t) = i(T, t) * (b + t)^m$$

Per ciascun tempo di ritorno si è assunto come caratteristico il valore medio di $a(T)$ al variare della durata:

$$a(T) = \sum_{t=1}^M \frac{i(T,t) * (b+t)^m}{M}$$

Si determinano quindi i valori ottimali dei parametri b ed m interpolando la relazione (9) linearizzata con il metodo dei minimi quadrati e imponendo il vincolo, di cui nel seguito, su b .

Poiché la stima separata dei parametri per ciascuno degli N tempi di ritorno considerati fornisce un diverso coefficiente angolare per ogni relazione intensità-durata linearizzata, conviene imporre

- l'unicità della trasformata temporale (b comune alle N relazioni);
- il parallelismo delle trasformate angolari (esponente m unico).

La realizzazione linearizzata assume così la forma

$$\text{Log}(i)_{i,T} = \text{Log}(a)_T - m \text{Log}(b+t) \quad (11)$$

dove t indica la durata della pioggia

e posto

$$y_{i,j} = \text{Log}(i)_{i,i} \quad \alpha_i = \text{Log}(a)_i \quad x_j = \text{Log}(b+t) \quad \beta = -m$$

- si ottiene

$$y_{i,j} = \alpha_i + \beta x_j$$

dove il pedice i si riferisce all'ordine degli N tempi di ritorno mentre il pedice j si riferisce alle M durate.

Si impone quindi che sia minima la somma dei quadrati degli scarti tra i valori teorici

$$y_{i,j} = \alpha_i + \beta x_j$$

e i relativi valori empirici $y'_{i,j} = \text{Log}(i)_{i,T}$:

$$S_i^2 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (y'_{i,j} - \alpha_i - \beta x_j)^2 = \min$$

ottenendo [Calenda e Margaritora, 1976]

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (x_j - x_M) y'_{i,j}}{N \sum_{j=1}^M (x_j - x_M)^2}$$

$$\alpha_i = y'_i - \beta x_M$$

Per la determinazione del parametro b , importante per la stima delle precipitazioni di durata molto inferiore all'ora, si fa riferimento al rapporto tra l'altezza di pioggia di durate molto brevi e le corrispondenti altezze orarie. Tali valori sono relativamente poco dipendenti dalla località e dal tempo di ritorno su scala mondiale [Bell 1969]. Si impone quindi il passaggio della curva di caso critico per un'intensità di pioggia di durata pari a 5' determinata in base al valore della pioggia oraria. In particolare il rapporto ρ tra pioggia di durata $\delta=5'$ e pioggia oraria è stato fissato pari a quello calcolato nella stazione pluviometrica di Milano Monviso in base alle osservazioni su 17 anni di precipitazione, pari a 3.864.

Imponendo dunque

$$\rho_{5'} = \frac{i_{5'}}{i_{1h}} = \left(\frac{b+1}{b+0.0833} \right)^m = 3.864 \quad (12)$$

si è eliminata l'incertezza sul parametro b .

Da un punto di vista procedurale tale metodologia è chiaramente di tipo iterativo: fissati dei valori di prima approssimazione per b ed m , tali valori vengono modificati finchè non si verifica contemporaneamente che:

- la differenza tra i valori di m tra due iterazioni successive non sia inferiore ad una certa tolleranza (10^{-3} mm/h);
- il vincolo b sia comunque rispettato.

3.1.7 Tabelle riassuntive e grafici

L'interpolazione dei dati TCEV esposta nel paragrafo precedente ha fornito i seguenti risultati

Sottozona omogenea "2" (Tavoliere delle Puglie – zona settentrionale)

I valori di interpolazione con curva a tre parametri basati sulla regionalizzazione sono riassunti nella tabella che segue:

<i>Parametro</i>	<i>Tempo di ritorno</i>	
<i>m</i>	<i>(unico)</i>	<i>0.781</i>
<i>b</i>	<i>(unico)</i>	<i>0.114</i>
<i>a</i>	20	43.4
	50	52.4
	100	59.3
	200	66.2
	500	75.3
	1000	82.2

Le altezze e le relative intensità di pioggia per varie durate e tempi di ritorno sono riportate nelle tabelle seguenti:

<i>h(T,t)</i>	<i>5'</i>	<i>10'</i>	<i>30'</i>	<i>1 ora</i>	<i>3 ore</i>	<i>6 ore</i>	<i>12 ore</i>	<i>24 ore</i>
20	11.9	18.1	29.4	39.9	53.6	63.3	74.2	86.7
50	14.4	21.9	35.6	48.2	64.8	76.5	89.7	104.8
100	16.3	24.7	40.2	54.5	73.3	86.6	101.5	118.6
200	18.2	27.6	44.9	60.9	81.8	96.6	113.3	132.4
500	20.7	31.4	51.1	69.2	93.1	109.9	128.9	150.6
1000	22.6	34.3	55.8	75.6	101.6	120.0	140.7	164.4

Sottozona omogenea "2" – altezze di precipitazione ricavate tramite la procedura di regionalizzazione TCEV ed interpolate con curva IDF a 3 parametri

<i>i(T,t)</i>	<i>5'</i>	<i>10'</i>	<i>30'</i>	<i>1 ora</i>	<i>3 ore</i>	<i>6 ore</i>	<i>12 ore</i>	<i>24 ore</i>
20	142.8	108.5	58.9	39.9	17.9	10.5	6.2	3.6
50	172.6	131.1	71.1	48.2	21.6	12.8	7.5	4.4
100	195.3	148.3	80.5	54.5	24.4	14.4	8.5	4.9
200	218.0	165.6	89.8	60.9	27.3	16.1	9.4	5.5
500	248.0	188.4	102.2	69.2	31.0	18.3	10.7	6.3
1000	270.7	205.6	111.6	75.6	33.9	20.0	11.7	6.8

Sottozona omogenea "2" – intensità di precipitazione ricavate tramite la procedura di regionalizzazione TCEV ed interpolate con curva IDF a 3 parametri

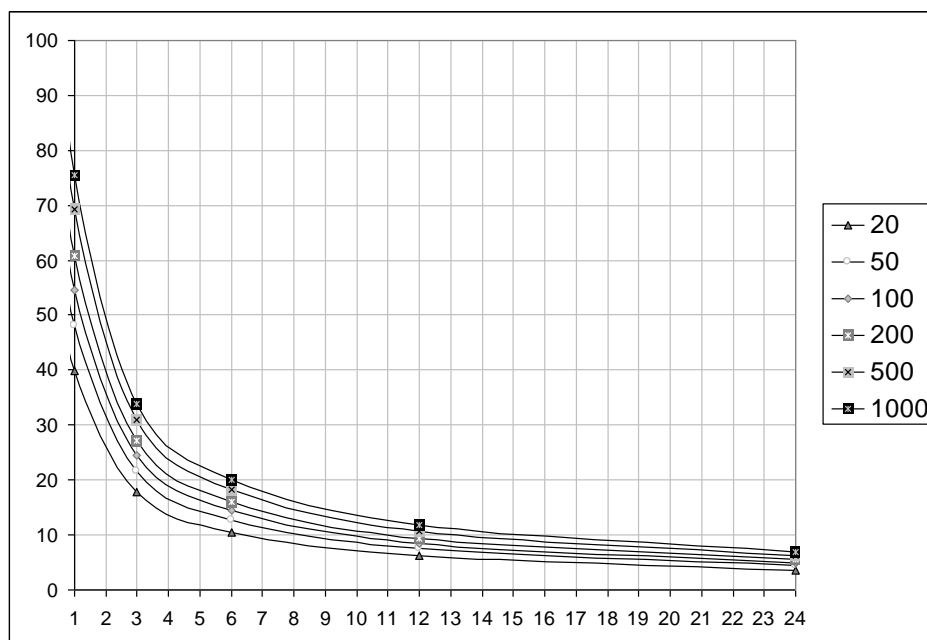


Figura 3.2 - Sottozona omogenea "2" – intensità di precipitazione (durate superiori ad un'ora)

3.2 Analisi statistica al pluviometro

In questa sezione vengono riportati i risultati relativi all'analisi statistica del campione storico delle massime altezze di precipitazione al pluviometro in accordo con il metodo della regolarizzazione delle curve di caso critico.

3.2.1 Dati di base

Non essendo disponibili dati sistematici per l'area di progetto riferiti ad eventi di pioggia brevi ed intensi ($T \leq 1$ ora), ad eccezione di un piccolo numero dati, la curva di probabilità pluviometrica è stata elaborata partendo dall'analisi statistica dei dati pluviometrici registrati nella stazione pluviografica di Manfredonia – Piana di Siponto, che risulta non solo la più limitrofa, ma anche, per condizioni altimetriche, la più adatta abbastanza bene a rappresentare le caratteristiche pluviometriche dell'area attraversata dalla strada (si veda la *figura 3.4*). La stazione di Manfredonia si trova infatti al livello del mare e risulta adatta a rappresentare le condizioni meteo-climatiche del progetto in esame. I dati delle altezze massime annuali per le diverse durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore

per gli anni di cui è stato possibile raccogliere i dati sono riportati nella tabella 1. La numerosità del campione statistico è pari a $77 \text{ anni} \times 5 \text{ durate}$.

Anche la stazione di *Foggia* osservatorio presenta una serie storica di buona durata (76 anni x 5 durate); l'applicazione della metodologia di inferenza delle piogge intense ha fornito tuttavia valori di precipitazione attesa meno elevati, a parità di tempo di ritorno, come si mostrerà nel seguito. Si è assunta quindi la curva derivante dall'analisi al pluviometro di Manfredonia.



Figura 3.3 – Ubicazione dell'intervento rispetto alla stazione pluviometrica di Manfredonia – Piana di Siponto

Tabella 3.5 – Stazione di MANFREDONIA-Piana di Siponto - altezze massime annuale di precipitazione per le durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

SEZIONE PROTEZIONE CIVILE - REGIONE PUGLIA										
MANFREDONIA (Bonifica Sipontina)										
Anno	1 Ora		3 Ore		6 Ore		12 Ore		24 Ore	
	mm	data	mm	data	mm	data	mm	data	mm	data
1932	11.8	27-apr	14.4	27-apr	14.6	27-apr	21.4	18-feb	23.8	18-feb
1933	26.8	23-nov	32.8	23-nov	36.6	23-nov	36.6	23-nov	47.0	1-dic

SEZIONE PROTEZIONE CIVILE - REGIONE PUGLIA										
MANFREDONIA (Bonifica Sipontina)										
Anno	1 Ora		3 Ore		6 Ore		12 Ore		24 Ore	
	mm	data	mm	data	mm	data	mm	data	mm	data
1934	16.0	8-ott	22.6	8-ott	25.8	8-ott	26.8	10-ott	42.0	8-ott
1935	17.6	10-set	34.4	21-ago	39.8	21-ago	43.4	20-ago	43.4	20-ago
1936	11.8	27-giu	13.6	27-giu	18.0	3-feb	22.6	3-feb	26.8	27-giu
1951	35.6	20-apr	38.8	26-lug	42.6	26-lug	42.6	26-lug	46.2	26-lug
1952	13.4	21-nov	22.6	21-nov	29.2	20-nov	34.4	20-nov	37.4	20-nov
1953	25.0	4-ago	25.6	4-nov	25.6	4-nov	29.4	7-nov	35.0	7-nov
1954	15.6	27-ago	21.0	18-mag	28.8	1-feb	39.2	1-feb	44.6	31-gen
1955	43.2	29-giu	47.6	29-giu	47.6	29-giu	47.8	29-giu	54.6	30-set
1956	19.6	15-nov	26.2	25-feb	33.2	25-feb	37.0	25-feb	58.8	25-feb
1957	19.0	10-nov	24.8	10-nov	28.4	10-nov	33.0	10-nov	45.6	16-gen
1959	16.0	7-ott	18.8	7-ott	28.2	26-nov	37.0	24-nov	54.8	24-nov
1961	68.0	5-ott	71.2	5-ott	79.0	5-ott	79.2	5-ott	79.2	5-ott
1963	14.0	9-ott	23.0	9-ott	29.6	28-ott	31.6	28-ott	49.8	28-ott
1964	34.8	24-giu	40.4	24-giu	51.4	24-ott	62.2	24-ott	62.4	24-ott
1965	6.8	22-gen	13.4	22-gen	15.2	21-gen	26.8	21-gen	33.6	21-gen
1966	19.0	17-set	29.6	4-nov	29.8	4-nov	29.8	4-nov	31.8	5-mar
1968	15.4	21-lug	22.4	24-ago	27.0	24-ago	27.2	24-ago	37.6	24-ago
1969	18.2	11-set	23.8	11-set	23.8	11-set	28.0	1-dic	30.2	1-dic
1970	46.0	18-set	87.0	18-set	106.6	18-set	113.6	18-set	133.0	18-set
1972	33.0	15-ott	48.2	15-lug	60.0	15-lug	63.6	15-lug	63.6	15-lug
1973	21.6	26-set	41.0	26-set	63.6	26-set	88.2	26-set	107.4	26-set
1974	17.6	7-nov	19.0	7-nov	23.0	7-nov	35.8	6-nov	47.0	6-nov
1975	11.6	27-ago	14.2	27-ago	23.8	27-ago	24.0	28-nov	33.4	12-dic
1977	17.6	2-set	17.8	2-set	18.8	2-set	19.2	2-set	19.4	2-set
1978	25.6	21-ott	30.4	21-ott	30.8	21-ott	33.0	6-mag	34.0	5-mar
1979	42.0	20-giu	47.2	20-giu	47.2	20-giu	47.2	20-giu	48.4	20-giu
1980	11.0	23-mag	24.0	15-gen	28.0	15-gen	41.8	11-ott	49.6	11-ott
1981	30.0	13-ago	35.0	13-ago	36.6	13-ago	36.8	13-ago	36.8	13-ago
1982	15.0	11-set	30.6	10-set	36.0	10-set	36.0	10-set	47.4	10-set
1983	17.0	29-giu	24.8	29-giu	26.2	29-giu	26.6	29-giu	31.8	3-dic
1986	31.0	27-set	31.2	27-feb	37.8	3-nov	56.4	3-nov	63.4	3-nov
1987	40.4	6-set	42.8	6-set	42.8	6-set	42.8	6-set	42.8	6-set
1988	20.0	21-ott	25.6	21-ott	27.4	21-ott	28.4	21-ott	28.4	21-ott
1989	26.0	21-mar	33.2	21-mar	35.8	21-mar	40.4	21-mar	42.4	21-mar
1990	16.4	18-set	17.0	18-set	24.8	9-apr	37.4	15-nov	48.2	15-nov
1991	24.0	14-ago	25.6	14-ago	25.6	14-ago	31.6	12-apr	45.6	12-apr
1994	18.6	10-giu	25.6	10-giu	29.6	10-giu	30.6	10-giu	31.0	10-giu
1995	35.6	31-lug	38.6	31-lug	38.8	31-lug	39.0	31-lug	52.4	3-gen

SEZIONE PROTEZIONE CIVILE - REGIONE PUGLIA										
MANFREDONIA (Bonifica Sipontina)										
Anno	1 Ora		3 Ore		6 Ore		12 Ore		24 Ore	
	mm	data	mm	data	mm	data	mm	data	mm	data
1996	29.0	18-lug	42.4	18-set	42.6	18-set	42.6	18-set	42.8	18-set
1997	13.4	28-ago	13.4	28-ago	17.6	31-ott	30.4	31-ott	46.4	31-ott
1998	13.8	29-mag	17.8	8-lug	28.0	23-nov	37.8	23-nov	42.8	23-nov
1999	22.8	1-ott	23.6	1-ott	24.4	1-ott	25.8	16-dic	31.2	16-dic
2000	26.4	8-set	38.0	8-set	41.0	8-set	41.0	8-set	41.2	8-set
2001	19.6	25-mag	25.4	25-mag	25.8	25-mag	29.2	25-mag	30.6	13-gen
2002	23.4	28-ago	24.4	28-ago	24.8	28-ago	33.6	4-apr	37.2	7-dic
2003	24.4	26-ago	24.4	26-ago	25.6	18-gen	28.4	12-dic	45.8	12-dic
2004	20.4	14-nov	22.5	14-nov	24.4	14-nov	28.8	13-nov	31.4	3-giu
2005	25.8	6-ott	29.0	6-ott	32.4	22-nov	38.0	22-nov	38.0	22-nov
2006	12.0	28-apr	18.0	26-set	29.4	26-set	38.0	26-set	50.8	26-set
2007	15.2	25-set	18.0	11-giu	20.6	25-set	21.6	25-set	25.6	8-giu
2008	17.2	15-nov	29.4	15-nov	36.4	15-nov	39.2	15-nov	45.4	15-nov
2009	41.6	21-set	45.0	20-set	45.2	20-set	45.2	20-set	47.6	20-set
2010	21.8	6-ago	22.6	2-nov	26.6	2-nov	33.4	2-nov	40.8	2-nov
2011	32.8	11-giu	42.8	11-giu	42.8	11-giu	65.4	1-mar	73.2	1-mar
2012	12.8	3-set	13.6	16-ott	16.6	13-set	25.4	19-nov	31.4	19-nov
2013	26.4	8-ott	26.6	8-ott	28.8	12-nov	41.0	1-dic	46.4	30-nov
2001	19.6	25-mag	25.4	25-mag	25.8	25-mag	29.2	25-mag	30.6	13-gen
2002	23.4	28-ago	24.4	28-ago	24.8	28-ago	33.6	4-apr	37.2	7-dic
2003	24.4	26-ago	24.4	26-ago	25.6	18-gen	28.4	12-dic	45.8	12-dic
2004	20.4	14-nov	22.5	14-nov	24.4	14-nov	28.8	13-nov	31.4	3-giu
2005	25.8	6-ott	29.0	6-ott	32.4	22-nov	38.0	22-nov	38.0	22-nov
2006	12.0	28-apr	18.0	26-set	29.4	26-set	38.0	26-set	50.8	26-set
2007	15.2	25-set	18.0	11-giu	20.6	25-set	21.6	25-set	25.6	8-giu
2008	17.2	15-nov	29.4	15-nov	36.4	15-nov	39.2	15-nov	45.4	15-nov
2009	41.6	21-set	45.0	20-set	45.2	20-set	45.2	20-set	47.6	20-set
2010	21.8	6-ago	22.6	2-nov	26.6	2-nov	33.4	2-nov	40.8	2-nov
2011	32.8	11-giu	42.8	11-giu	42.8	11-giu	65.4	1-mar	73.2	1-mar
2012	12.8	3-set	13.6	16-ott	16.6	13-set	25.4	19-nov	31.4	19-nov
2013	26.4	8-ott	26.6	8-ott	28.8	12-nov	41.0	1-dic	46.4	30-nov
2014	30.8	14-giu	32.4	14-giu	33.0	14-giu	46.2	3-set	61.2	3-set
2015	38.4	11-ago	58.6	15-ott	97.4	15-ott	103.6	14-ott	105.6	14-ott
2016	30.6	8-ago	38.8	8-ago	38.8	8-ago	39.6	6-set	41.2	6-set
2017	20.8	25-lug	20.8	25-lug	21.2	25-lug	22.4	16-nov	33.8	18-gen
2018	42.2	-	47.2	22-giu	49.6	22-giu	50.4	22-giu	53.8	21-ott
2019	19.4	-	26.6	-	35.4	10-lug	38.0	10-lug	38.0	10-lug

Tabella 3.6 – Stazione di FOGGIA OSSERVATORIO - altezze massime annuale di precipitazione per le durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

SEZIONE PROTEZIONE CIVILE - REGIONE PUGLIA										
Foggia Osservatorio										
Anno	1 Ora		3 Ore		6 Ore		12 Ore		24 Ore	
	mm	data	mm	data	mm	data	mm	data	mm	data
1934	20.6	15-set	25.0	11-ott	38.4	7-ott	53.4	7-ott	83.2	7-ott
1935	35.0	21-ago	47.6	21-ago	51.8	20-ago	55.8	20-ago	58.8	20-ago
1936	23.6	18-ago	27.8	18-ago	28.2	18-ago	28.4	18-ago	32.8	15-nov
1937	22.0	14-giu	22.0	14-giu	22.0	14-giu	25.8	3-set	27.6	3-set
1938	15.6	7-set	19.2	16-feb	26.4	16-feb	30.2	16-feb	40.8	16-feb
1939	24.0	7-set	28.8	7-set	29.4	31-gen	33.0	30-gen	35.4	30-gen
1940	17.2	19-giu	22.8	19-giu	22.8	19-giu	31.2	10-gen	49.8	9-gen
1941	21.8	16-set	31.4	17-set	46.0	17-set	59.4	17-set	95.6	16-set
1942	9.0	30-apr	12.4	2-giu	16.2	2-giu	27.6	26-dic	45.2	26-dic
1947	28.4	23-set	28.8	23-set	28.8	23-set	28.8	23-set	34.4	22-mag
1948	35.0	1-nov	40.2	1-nov	40.2	1-nov	40.4	1-nov	40.4	1-nov
1949	30.0	18-set	56.4	18-set	63.2	18-set	72.2	17-set	72.6	17-set
1950	21.2	29-set	21.8	4-giu	21.8	4-giu	30.8	24-gen	45.0	24-gen
1951	14.6	29-set	17.6	29-set	27.0	21-mar	27.6	21-mar	38.0	28-feb
1952	18.2	15-set	22.6	16-set	36.0	16-set	36.8	16-set	43.0	16-set
1953	14.0	5-nov	14.4	5-nov	28.0	5-nov	33.2	4-nov	40.4	4-nov
1954	13.8	30-gen	27.0	11-nov	46.8	11-nov	50.2	11-nov	55.2	12-dic
1955	17.6	12-set	17.8	12-set	24.4	30-set	38.6	30-set	70.2	30-set
1956	19.6	19-nov	32.2	19-nov	45.2	19-nov	53.6	18-nov	58.6	18-nov
1961	31.0	3-ott	42.6	3-ott	51.8	3-ott	58.8	3-ott	66.0	3-ott
1962	18.2	17-lug	22.8	30-ott	31.8	30-ott	40.2	30-ott	40.4	30-ott
1963	31.2	25-lug	31.2	25-lug	43.4	9-ott	50.8	9-ott	56.8	9-ott
1964	20.0	24-giu	21.4	24-giu	28.8	18-dic	35.6	18-dic	39.0	18-dic
1965	42.4	19-ago	71.0	19-ago	71.0	19-ago	71.0	19-ago	75.4	19-ago
1966	19.0	12-lug	19.0	12-lug	19.0	12-lug	24.2	28-ott	24.6	28-ott
1967	24.6	12-dic	35.6	12-dic	37.2	12-dic	40.4	12-dic	55.2	27-apr
1968	14.4	25-ago	20.2	25-ago	31.4	25-ago	32.4	25-ago	47.6	24-ago
1969	34.0	10-set	68.0	10-set	68.2	10-set	74.6	10-set	80.6	10-set
1970	14.0	18-set	30.6	18-set	40.0	18-set	51.4	18-set	53.6	17-set
1971	14.0	13-nov	26.4	13-nov	36.4	11-apr	44.2	1-ott	48.8	1-ott
1972	21.2	24-ago	26.8	8-set	35.8	15-lug	41.4	15-lug	41.4	15-lug
1974	23.2	18-giu	24.8	18-giu	30.2	7-nov	41.8	6-nov	49.2	6-nov
1975	22.2	22-mag	22.8	11-ott	24.4	11-ott	33.8	23-mar	37.8	12-dic
1976	20.8	8-lug	23.4	8-lug	24.4	24-lug	36.6	24-lug	38.4	24-lug

SEZIONE PROTEZIONE CIVILE - REGIONE PUGLIA										
Foggia Osservatorio										
Anno	1 Ora		3 Ore		6 Ore		12 Ore		24 Ore	
	mm	data	mm	data	mm	data	mm	data	mm	data
1977	17.2	23-giu	17.2	23-giu	18.6	10-dic	23.4	9-dic	28.0	9-dic
1978	14.2	27-mag	15.2	27-mag	24.4	3-apr	28.6	3-apr	31.4	3-apr
1980	22.0	10-set	22.0	10-set	22.4	1-giu	28.2	1-giu	35.0	11-ott
1981	19.8	14-ago	23.0	6-ago	25.2	6-ago	25.4	6-ago	27.8	5-ago
1982	39.6	11-ago	39.6	11-ago	39.6	11-ago	39.6	11-ago	39.6	11-ago
1983	36.2	13-ago	48.4	13-ago	48.6	13-ago	48.6	13-ago	48.6	13-ago
1984	33.8	28-ott	54.6	28-ott	67.0	28-ott	70.6	28-ott	81.6	28-ott
1985	12.2	17-nov	25.6	16-nov	45.2	16-nov	57.2	16-nov	66.8	16-nov
1986	31.2	13-giu	43.4	13-giu	48.4	13-giu	53.2	13-giu	55.6	13-giu
1987	10.2	28-ago	15.2	29-mag	19.4	29-mag	31.0	20-nov	46.0	20-nov
1988	13.6	25-giu	19.8	6-mar	23.2	6-mar	32.4	6-mar	36.6	6-mar
1989	20.0	26-lug	26.4	26-lug	37.4	26-lug	40.4	26-lug	40.6	26-lug
1990	50.0	8-ago	67.0	8-ago	67.0	8-ago	69.2	8-ago	80.0	15-nov
1991	33.0	15-set	46.0	15-set	46.0	15-set	46.0	15-set	46.0	15-set
1992	20.0	20-giu	22.8	20-giu	23.4	20-giu	23.4	20-giu	24.4	20-giu
1993	16.2	13-mag	16.2	13-mag	22.2	4-set	22.2	4-set	33.0	13-mag
1994	11.8	10-giu	17.8	20-set	23.0	20-set	26.2	19-set	27.4	19-set
1995	40.0	6-lug	40.2	6-lug	40.4	6-lug	40.4	6-lug	42.6	5-dic
1996	44.0	8-ago	59.6	8-ago	59.6	8-ago	61.4	8-ago	61.4	8-ago
1997	13.6	29-apr	18.6	29-apr	19.2	29-apr	30.2	31-ott	46.4	31-ott
1998	21.2	12-ott	21.6	12-ott	23.6	8-lug	27.4	8-lug	33.6	24-mar
1999	25.2	8-set	32.2	16-giu	32.2	16-giu	32.2	16-giu	38.4	2-gen
2000	9.6	4-apr	16.6	4-apr	27.0	4-apr	42.4	4-apr	42.8	4-apr
2001	55.4	19-giu	57.0	19-giu	57.2	19-giu	69.2	18-giu	88.8	18-giu
2002	37.2	27-ago	37.2	27-ago	37.2	27-ago	37.4	27-ago	46.4	27-ago
2003	31.8	18-giu	35.4	18-giu	36.2	18-giu	36.2	18-giu	49.0	24-gen
2004	27.8	25-lug	29.6	25-lug	34.4	14-nov	42.2	13-nov	53.2	3-giu
2005	16.2	15-giu	17.0	15-giu	26.6	11-dic	38.6	11-dic	55.8	11-dic
2006	9.0	26-set	13.8	26-set	15.2	23-feb	26.8	26-set	44.4	26-set
2007	22.8	26-ott	24.0	26-ott	24.2	26-ott	39.2	30-mar	40.0	30-mar
2008	16.6	5-nov	27.2	5-nov	36.2	5-nov	45.4	5-nov	52.4	5-nov
2009	13.4	2-ott	18.8	24-set	24.0	24-set	26.2	24-set	32.2	6-mar
2010	16.4	21-lug	19.8	19-ott	27.2	19-ott	37.0	19-ott	38.4	19-ott
2011	15.2	26-lug	17.2	6-nov	31.6	6-nov	34.6	6-nov	43.4	28-feb
2012	14.2	4-set	19.2	14-apr	26.4	14-apr	32.2	20-nov	58.0	19-nov
2013	22.8	23-mag	36.4	22-mag	41.2	1-dic	57.2	1-dic	72.0	30-nov
2014	23.2	26-mag	23.2	26-mag	26.6	3-set	30.4	3-set	33.4	3-set
2015	37.4	17-giu	50.6	15-ott	88.2	14-ott	93.8	14-ott	97.4	14-ott

SEZIONE PROTEZIONE CIVILE - REGIONE PUGLIA										
Foggia Osservatorio										
Anno	1 Ora		3 Ore		6 Ore		12 Ore		24 Ore	
	mm	data	mm	data	mm	data	mm	data	mm	data
2016	15.6	6-ago	19.0	6-ago	23.2	7-set	27.2	2-mag	37.8	2-mag
2017	17.6	21-mag	24.2	8-mag	32.2	25-feb	40.4	16-nov	44.8	16-nov
2018	34.8	-	36.4	15-ago	36.4	15-ago	39.6	-	71.8	21-ott
2019	43.2	-	44.8	2-set	45.0	2-set	45.0	2-set	45.0	2-set

3.2.1 Metodologia

La metodologia utilizzata è quella che prevede il tracciamento delle *curve di caso critico*, e successivamente la caratterizzazione statistica delle altezze di pioggia oraria.

Le curve di caso critico rappresentano le massime altezze annue di precipitazione (in mm di pioggia) misurate relativamente alle durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore. Indicate con M il numero delle durate prefissate ($j = 1, 2, \dots, M$) in base al quale si intende tracciare le curve, e con N il numero degli anni di osservazione ($i = 1, 2, \dots, N$), si ottengono M serie di N valori empirici $h_i(t_j)$.

Ordinata ogni serie M in senso decrescente, si ottengono, così, M serie di N valori empirici di altezze di pioggia $h_i(t_j)$ ordinati in senso decrescente, in cui i valori contrassegnati dallo stesso indice i prendono il nome di i-esimo caso critico; le linee che uniscono i punti rappresentativi dello stesso caso critico (per M durate t_j diverse) prendono il nome di curve di caso critico delle altezze di precipitazione.

Le curve così determinate presentano un andamento irregolare che varia notevolmente da caso a caso; ai fini pratici è utile regolarizzare gli andamenti delle curve empiriche con curve analitiche interpolatrici del tipo:

$$h(t) = a t^n, \quad (1)$$

valida per le altezze di pioggia, o l'equivalente, valida per le intensità:

$$i(t) = a t^{n-1}. \quad (2)$$

Volendo regolarizzare gli andamenti dei valori empirici delle altezze di pioggia, si linearizza la (1) passando alla forma logaritmica

$$\log h(t) = n \log t + \log a. \quad (3)$$

Ponendo poi $y(x) = \log h(t)$, $x = \log t$, $\alpha = n$, $\beta = \log a$, si ottiene la forma semplificata:

$$y(x) = \alpha x + \beta, \quad (4)$$

che rappresenta l'equazione di una retta.

Per determinare, per ogni i-esimo caso critico dei valori empirici, gli i-esimi coefficienti α_i e gli i-esimi coefficienti β_i della i-esima curva interpolante:

$$y_i(x_j) = \alpha_i x_j + \beta_i, \quad (5)$$

si è utilizzato il metodo dei minimi quadrati, imponendo, cioè, che essi assumano valori tali da rendere minima, per ogni caso critico, la somma dei quadrati degli scarti tra i valori empirici (osservati) $y'_i(x_j)$ ed i corrispondenti valori $y_i(x_j)$ della retta interpolante:

$$S_i = \sum_{j=1}^M [y_i(x_j) - y'_i(x_j)]^2 = \sum_{j=1}^M [\alpha_i x_j + \beta_i - y'_i(x_j)]^2 \quad (6)$$

Derivando la (6) rispetto ai coefficienti α_i e β_i , uguagliando a zero tali derivate e risolvendo il sistema delle due equazioni nelle due incognite α_i e β_i si ottiene:

$$\alpha_i = \frac{\sum_{j=1}^M (x_j - \bar{x}) y'_i(x_j)}{\sum_{j=1}^M (x_j - \bar{x})^2} \text{ e } \beta_i = \bar{y}'_i - \alpha_i \bar{x} \quad (7)$$

Dove \bar{y}'_i , \bar{x} e sono le medie, rispetto alle M durate j, dei valori empirici $y'_i(x_j)$ e dei valori x_j delle durate stesse:

$$\bar{y}'_i = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M y'_i(x_j) \text{ e } \bar{x} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M x_j \quad (8)$$

Per ogni caso critico, determinati i coefficienti α_i , si ottengono immediatamente i coefficienti n_i , mentre per ottenere i coefficienti ai basta invertire la $\beta_i = \log a_i$.

Con questo metodo può accadere che le rette rappresentanti i casi critici si incrocino; per ovviare a tale inconveniente si è imposto a priori il parallelismo tra le rette interpolatrici, imponendo, cioè, che esse abbiano tutte lo stesso coefficiente angolare α .

$$y_i(x) = \alpha x + \beta_i, \quad (9)$$

In tal caso i coefficienti β_i e l'unico valore di α possono essere determinati imponendo che essi assumano valori tali da rendere minima la somma dei quadrati degli scarti tra i valori empirici $y'_i(x_j)$ ed i corrispondenti valori $y_i(x_j)$ delle rette interpolanti, per tutti i casi critici contemporaneamente:

$$S = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M [y_i(x_j) - y'_i(x_j)]^2 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M [\alpha x_j + \beta_i - y'_i(x_j)]^2 \quad (10)$$

Derivando la (10) rispetto ai coefficienti α e β_i , uguagliando a zero tali derivate e risolvendo il sistema di due equazioni nelle incognite α e β_i si ottiene:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (x_j - \bar{x}) y'_i(x_j)}{N \sum_{j=1}^M (x_j - \bar{x})^2} \text{ e } \beta_i = \bar{y}'_i - \alpha \bar{x} \quad (11)$$

Dove \bar{y}'_i , \bar{x} hanno lo stesso significato del caso precedente.

I valori delle altezze di pioggia per ciascun caso critico ottenuti con la metodologia precedentemente descritta sono riportati nella tabella seguente per il pluviometro di Manfredonia. La figura 3 riporta la frequenza empirica di non superamento delle altezze orarie di pioggia secondo l'espressione di Weibull. Il valore del coefficiente di crescita n con la durata è risultato pari a 0.2263.

Successivamente si sono inferiti i parametri della distribuzione di Gumbel

$$P[h(t)] = e^{-e^{-\alpha[h(t)-x_0]}} = e^{-e^{-\alpha_1 t^{-n} (a t^n - x_0 t^n)}} = e^{-e^{-\alpha_1 (a - x_0)}} = P(a) \quad (12)$$

relativi alla distribuzione delle altezze orarie di pioggia, per associare a ciascun tempo di ritorno il valore del parametro a che compare nella (1) e nella (2). I parametri della distribuzione di Gumbel si stimano in funzione di media e varianza secondo le note espressioni:

$$\alpha_1 = \frac{1,2825}{\sigma_1} \text{ e } x_{01} = \mu_1 - 0,45006\sigma_1 \quad (13)$$

3.2.2 Risultati

Le curve di altezza di precipitazione per le diverse durate di pioggia superiore ad un'ora e i tempi di ritorno di 25, 50, 100 e 200 anni sono riportati nella figura seguente.

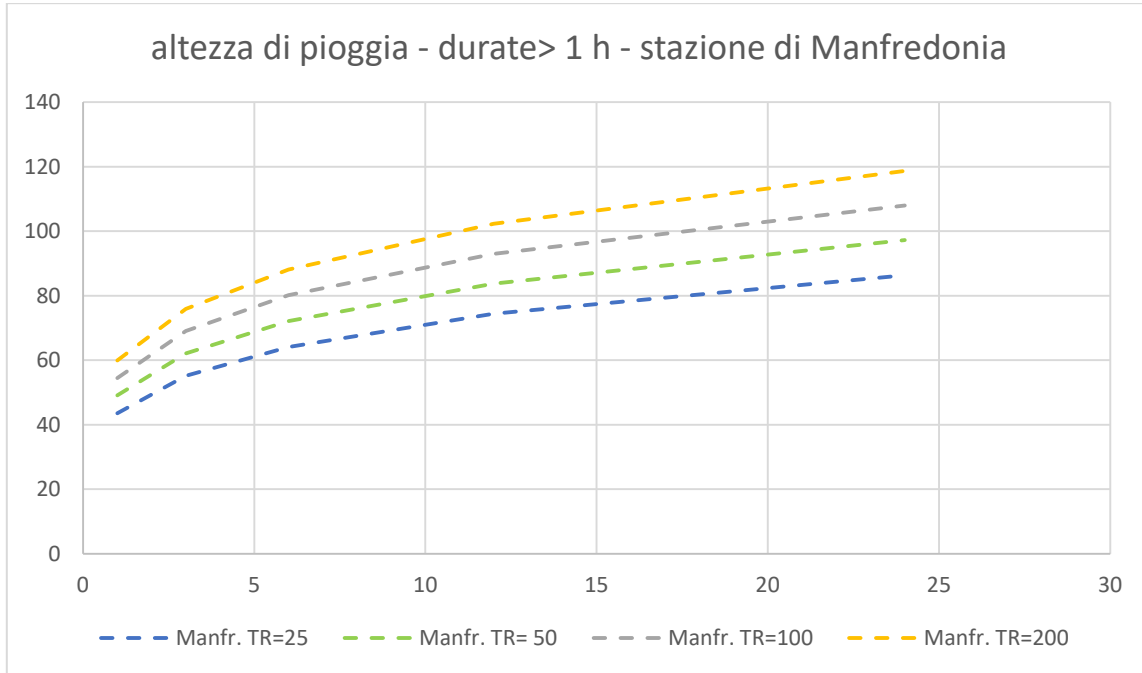


Figura 3.4 – altezza di pioggia per diverse durate di pioggia e tempi di ritorno di 25, 50, 100 e 200 anni.

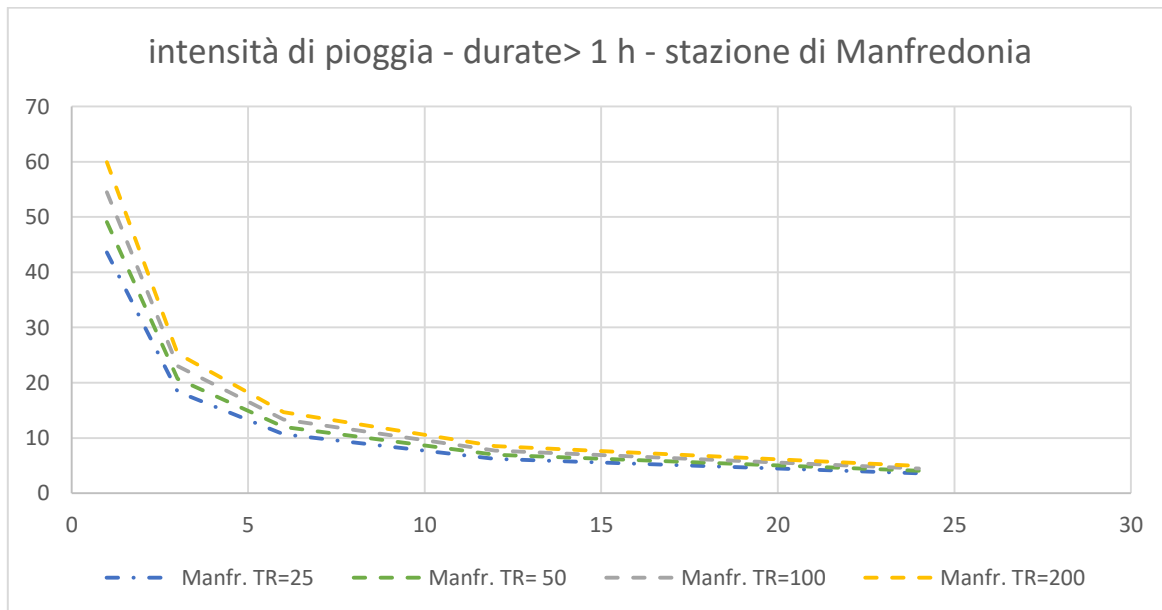


Figura 3.5 – intensità di pioggia per diverse durate di pioggia e tempi di ritorno di 25, 50, 100 e 200 anni.

La figura 3.6 mostra l'adattamento della serie della curva di Gumbel inferita alle altezze di pioggia oraria regolarizzate (confronto tra la probabilità cumulata e la frequenza empirica cumulata alla Weibull); la figura 3.7 mostra lo stesso confronto, ma l'adattamento è sulla frequenza empirica (non cumulata).

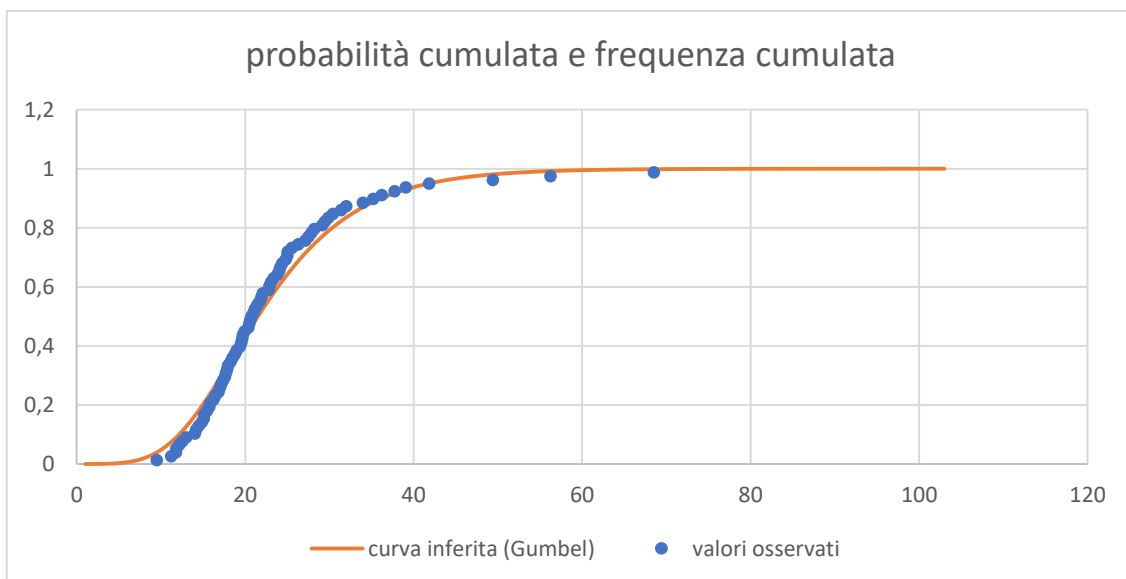


Figura 3.6 – Adattamento della serie della curva di Gumbel inferita alle altezze di pioggia oraria regolarizzate – curva cumulata

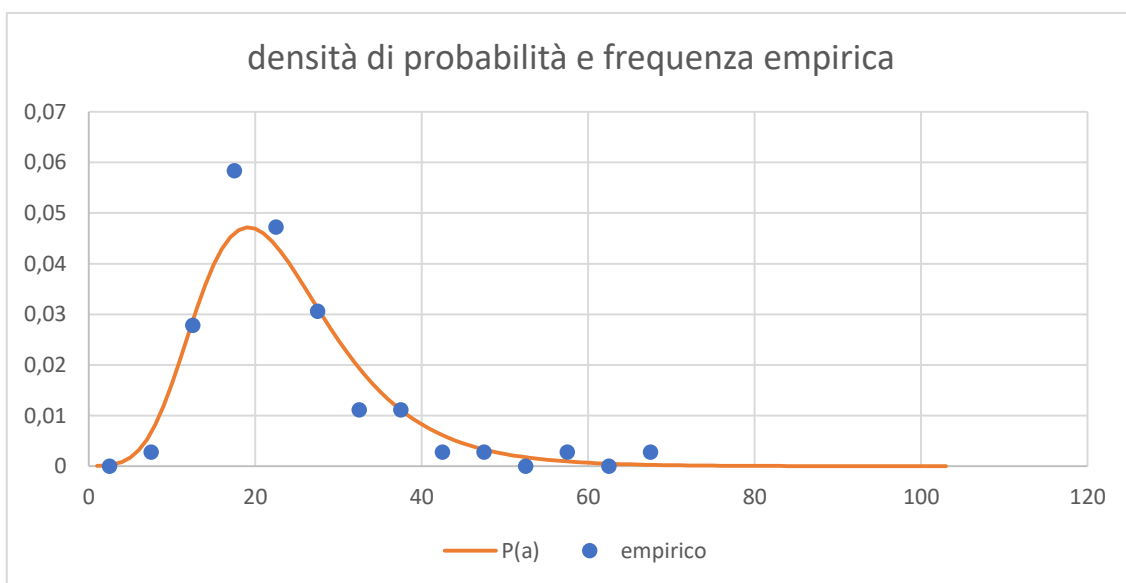


Figura 3.7 – Adattamento della serie della curva di Gumbel inferita alle altezze di pioggia oraria regolarizzate – curva della densità di probabilità

I valori del parametro a da utilizzarsi nelle forme monomie (1) e (2) relativi a tempi di ritorno significativi per il presente progetto sono riportati nella tabella successiva.

Tabella 3.6– pluviografo di Manfredonia - valori dell'altezza di precipitazione relativi ai diversi tempi di ritorno e coefficiente di crescita con la durata

n*	0.215
n*	0.215
TR	a
10	36.2
25	43.6
50	49.1
100	54.5
200	59.9
500	67.1

Per quanto riguarda la stazione di Foggia, i risultati della regolarizzazione delle curve di caso critico e l'inferenza delle altezze orarie di precipitazione ha fornito i risultati riportati nella seguente tabella

Tabella 3.6– pluviografo di Foggia osservatorio- valori dell'altezza di precipitazione relativi ai diversi tempi di ritorno e coefficiente di crescita con la durata

n*	0.247
TR	a
10	34.5
25	41.2
50	46.2
100	51.1
200	56.0
500	62.5

Nel complesso le altezze orarie inferite al pluviometro di Manfredonia sono più elevate di quelle ottenute a quello di Foggia e pertanto, in via cautelativa, saranno quelle prese a riferimento nei calcoli successivi.

3.3 Intensità per durate brevi e curve interpolanti

Nessuno dei metodi precedentemente esposti, che sono basati in ogni caso su serie storiche di dati relative a precipitazioni comprese tra 1 e 24 ore, può essere utilizzato direttamente per l'analisi delle piogge estremamente brevi (scrosci). Per le stazioni nell'area d'esame il campione di dati relativo agli scrosci risulta estremamente ridotto.

In tal senso, è pratica comune adottare per le precipitazioni molto brevi i coefficienti riduttori stimati su alcune sezioni ampiamente monitorate, per le quali il campione di dati da pochi minuti ad un'ora è sufficientemente significativo.

In Italia si fa riferimento generalmente ai coefficienti riduttori forniti nel manuale Hoepli sui sistemi di fognatura, a cura del Centro Studi Deflussi Urbani, e relativo allo studio sui pluviometri di Roma Macao e di Milano Monviso.

Dei due, i coefficienti riduttori relativi a Milano Monviso risultano più cautelativi rispetto a quelli di Roma Macao soprattutto per le brevi durate; in tal senso sono stati adottati i valori di Milano Monviso, riportati nella seguente tabella:

durata (min)	durata (h)	Coefficiente
5	0.0833	0.304
10	0.1667	0.449
15	0.2500	0.568
30	0.5000	0.7
45	0.7500	0.8
60	1	1

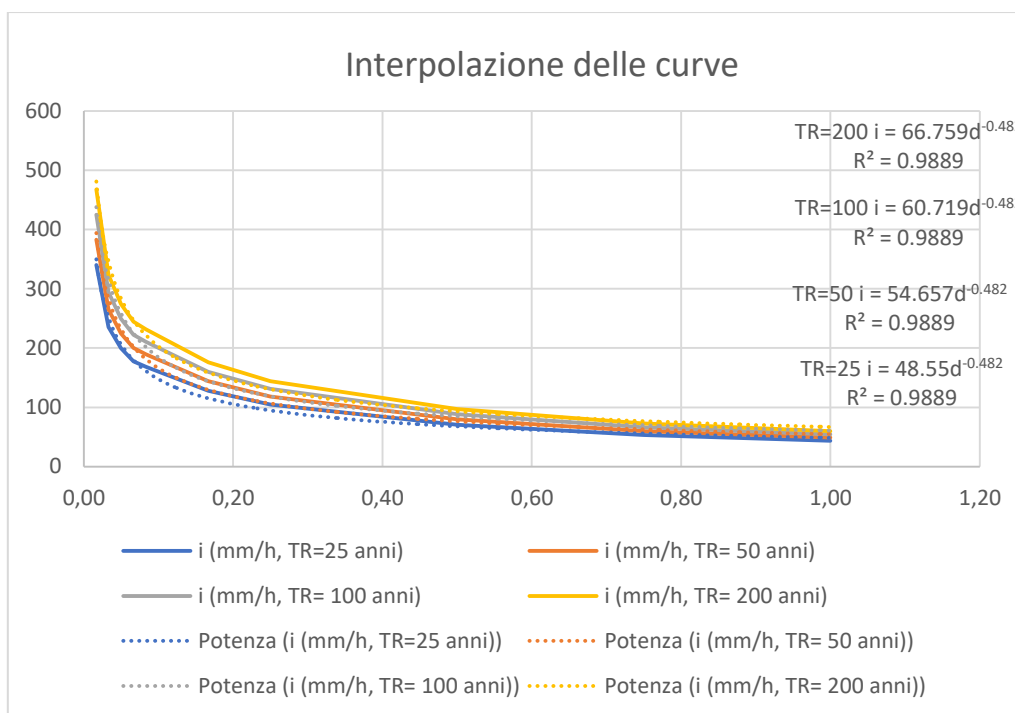
Coefficienti riduttori stimati per il pluviografo di Milano Monviso

L'applicazione dei suddetti coefficienti di riduzione porta alla valutazione delle precipitazioni per assegnata durata sub-oraria indicate nella seguente tabella (sono riportati i valori delle altezze di pioggia e delle intensità):

<i>r</i>	0.13	0.18	0.229	0.272	0.322	0.489	0.601	0.811	0.913	1
Durata (h)	0.02	0.03	0.05	0.07	0.08	0.17	0.25	0.50	0.75	1.00
Durata (min)	1	2	3	4	5	10	15	30	45	60
h in mm (Tr=25anni)	6	8	10	12	14	21	26	35	40	44
<i>i</i> (mm/h, TR=25 anni)	340	235	200	178	168	128	105	71	53	44
h in mm (Tr=50anni)	6	9	11	13	16	24	29	40	45	49
<i>i</i> (mm/h, TR= 50 anni)	383	265	225	200	190	144	118	80	60	49
h in mm (TR=100 anni)	7	10	12	15	18	27	33	44	50	55

<i>r</i>	0.13	0.18	0.229	0.272	0.322	0.489	0.601	0.811	0.913	1
Durata (h)	0.02	0.03	0.05	0.07	0.08	0.17	0.25	0.50	0.75	1.00
Durata (min)	1	2	3	4	5	10	15	30	45	60
i (mm/h, TR= 100 anni)	425	294	250	222	211	160	131	88	66	55
h in mm(TR=200 anni)	8	11	14	16	19	29	36	49	55	60
i (mm/h, TR= 200 anni)	467	324	274	244	232	176	144	97	73	60

Le curve interpolanti i dati della precedente tabella sono state ottenute con il metodo dei minimi quadrati e sono fornite di seguito:



Le equazioni ottenute hanno i seguenti parametri:

	durate < 1 h		durate > 1 h	
	a	n*	a	n*
i(TR=25 anni)	48.5	0.518	48.5	0.22
i(TR=50 anni)	54.7	0.518	54.7	0.22
i(TR=100 anni)	60.7	0.518	60.7	0.22
i(TR=200 anni)	66.8	0.518	66.8	0.22

3.4 Confronto tra i due approcci

L'inferenza delle altezze di precipitazione ottenute sulla base dei dati del pluviometro di Manfredonia e con l'interpolazione di cui alla sezione precedente ha fornito altezze di precipitazione nel complesso coerenti con quelle fornite dalla regionalizzazione. Poiché essere sono, tuttavia, leggermente a quelle di regionalizzazione, la precedente tabella viene assunta nel seguito per la determinazione delle portate di progetto.

4. PORTATE DI PIENA SUI BACINI PRINCIPALI

4.1 Metodologia adottata

Tutti i bacini individuati lungo il tracciato stradale sono caratterizzati da aree drenate di limitata estensione e rapida concentrazione del deflusso.

Per tutti i bacini delimitati non esistono serie idrometriche e la valutazione del livello con assegnato tempo di ritorno deve essere effettuata in modo indiretto, sulla base delle caratteristiche del bacino.

La determinazione delle portate defluenti nelle sezioni di chiusura dei bacini scolanti è stata effettuata mediante l'applicazione di un modello afflussi-deflussi. L'importanza di tale informazione risiede nella necessità di procedere – tramite verifica – al dimensionamento dei manufatti idraulici in accordo con il clima di possibilità pluviometrico individuato nella sezione.

Note le curve di possibilità pluviometrica, si è proceduto alla determinazione delle piogge di progetto ed alla successiva determinazione dei colmi di piena per ognuna delle opere esaminate.

Per la determinazione delle portate, è stato adottato il modello di corrivazione utilizzando uno ietogramma rettangolare depurato delle perdite idrologiche per infiltrazione e per detenzione superficiale mediante l'applicazione di un coefficiente di deflusso (rapporto tra il volume defluito ed il corrispondente volume di afflusso meteorico) assunto costante durante l'evento.

Il modello adottato ammette due parametri fondamentali, uno per ciascuno dei due fenomeni citati in precedenza (infiltrazione e trasformazione afflussi netti - deflussi): il coefficiente di deflusso (equivalente al coefficiente di assorbimento orario nella nomenclatura del metodo italiano) e il tempo di corrivazione del bacino. Detti parametri hanno un preciso significato fisico e sono basilari per poter raggiungere una rappresentazione accettabile del fenomeno delle piene.

Nel caso in esame, sono stati utilizzati quattro valori differenti per il coefficiente di deflusso φ . Tali valori sono stati attribuiti a seconda del grado di urbanizzazione di ogni bacino:

- Per la parte agricola o non urbanizzata dei bacini si è adottato un coefficiente di deflusso pari a 0,25, coefficiente che si è ritenuto cautelativo in assenza di significativa impermeabilizzazione; tale coefficiente risulta infatti superiore ai valori indicati in letteratura per suoli non urbanizzati, anche in presenza di terreni acclivi e per diverse tipologie di copertura del terreno (si confrontano, ad esempio, i valori suggeriti dall'American Society for Civil Engineers, sotto riportati);

suoli vegetati, permeabili	pendenza fino a 2%	0.05	0.1
----------------------------	--------------------	------	-----

	pendenza media tra 2% e 7%	0.1	0.15
	pendenza elevata oltre 7%	0.15	0.2
suoli vegetati, poco permeabili	pendenza fino a 2%	0.13	0.17
	pendenza media tra 2% e 7%	0.18	0.22
	pendenza elevata oltre 7%	0.25	0.35

- per bacini con componente di impermeabilizzata significativa si è adottato un coefficiente di deflusso pari a 0,9
- per le aree a verde intercluse tra le rampe si è adottato un coefficienti di deflusso pari a 0,4;
- infine per i rilevati, le aree tra complanare e SS89, e le zone con presenza di rampe di scambio si è adottato un coefficienti di deflusso pari a 0,6;
-

La stima della portata al colmo di piena di assegnato tempo di ritorno TR è stata effettuata utilizzando la formula razionale:

$$Q(T) = \varphi A i_c(T)$$

Dove $Q(T)$, A e $i_c(T)$ indicano rispettivamente la portata al colmo di piena di tempo di ritorno (per i tempi di ritorno di 200), l'area del bacino e l'intensità della precipitazione relativa al centro di scroscio di durata pari al tempo τ_c critico del bacino; φ è il coefficiente di deflusso sopra introdotto, che tiene conto delle perdite per infiltrazione, e dell'effetto di laminazione del bacino.

La formula razionale può essere giustificata concettualmente assumendo uniforme nello spazio e nel tempo l'intensità di precipitazione e schematizzando il fenomeno di trasformazione afflussi–deflussi con un particolare modello cinematico.

4.2 Caratteristiche dei bacini

Le caratteristiche dei bacini principali individuati lungo il tracciato sono riportate nella seguente tabella. Il limite esterno di tali bacini è riportato nella corografia dei bacini (codice elaborato T00_ID00_IDR_CO01).

Una suddivisione più di dettaglio degli stessi bacini, finalizzata al dimensionamento dei singoli fossi di guardia e dei tombini minori di collegamento tra gli stessi, è riportata nella relazione idraulica.

Per ciascun bacino versante sono indicate:

- l'identificazione e posizione dell'opera di riferimento
- l'area drenata, suddivisa tra
 - area permeabile esterna all'infrastruttura
 - area impermeabile dovuta alla realizzazione dell'infrastruttura
 - aree verdi intercluse
 - aree di rampe di scambio, complanari, rilevati e relative zone intercluse
- l'area equivalente ottenuta applicando i coefficienti di deflusso sopra definiti
- la lunghezza dell'asta principale
- la quota massima del bacino versante
- la quota minima del bacino versante
- la pendenza media

	tombino / opera	PK	area Permeabile esterna (mq)	area impermeabile (mq)	aree a verde intercluse rampe (mq)	aree con rampe, scambi di corsia e relative zone intercluse a verde (mq)	area equivalente principale (mq)	L max (m)	H max (m)	H min (m)	pendenza (m/m)
B10	recapito verso ricettore fuori lotto	-	123806	0	0	0	40086	1350	61	37	0.018
			0	15986	0	0					
B20	TM 15 D1500 armco PK 173+500	173+500	45401	0	0	0	32157	425	89	78	0.026
			57004	0	0	0					

	tombino / opera	PK	area Permeabile esterna (mq)	area impermeabile (mq)	aree a verde intercluse rampe (mq)	aree con rampe, scambi di corsia e relative zone intercluse a verde (mq)	area equivalente principale (mq)	L max (m)	H max (m)	H min (m)	pendenza (m/m)
			0	8037	0	0					
			13188	0	0	0					
B40	TM01 D1500 armco PK 174+370	174+370	0	3085	0	0	40427	535	101	86	0.028
			0	3232	0	0					
			47332	0	0	0					
			110864	0	0	0					
B50	TM02 armco D2000 PK 175+736	175+736	581251	0	0	0	139668	2312	119	106	0.006
			0	11616	0	0					
B60	TM04 armco D1500 PK 177+730	177+730	325986	0	0	0	136420	1230	117	106	0.009
			179723	0	0	0					
			0	18342	0	0					
			0	11247	0	0					
B63	TM06 armco D1500 rampa B svincolo 1	Sv1	0	0	10057	0	16252	150	105	99	0.040
			0	0	0	8594	12631				
			35514	0	0	0	10459				
B61	TM05 armco D1500 rampa G svincolo 1	Sv1	0	0	6857	0	2469	240	104	98	0.025
B62	TM07 armco D1500 rampa B svincolo 1	Sv1	0	0	8993	0	22520	350	105	97	0.023
			0	0	6857	0					
			0	0	0	14672					

	tombino / opera	PK	area Permeabile esterna (mq)	area impermeabile (mq)	aree a verde intercluse rampe (mq)	aree con rampe, scambi di corsia e relative zone intercluse a verde (mq)	area equivalente principale (mq)	L max (m)	H max (m)	H min (m)	pendenza (m/m)
			0	11622	0	0					
B64	TM08 armco D1500 svincolo 1 PK 178+600	178+600	0	0	6686	0	28547	450	107	88	0.042
			0	0	8993	0					
			0	0	6857	0					
			0	0	10057	0					
			0	11622	0	0					
			0	0	0	14672					
B70	TM09 armco D2000 PK 179+462	PK 179+462	117523	0	0	0	42318	1076	108	65	0.040
			0	20752	0	0					
B80	TM10 armco D2000 PK 179+960	PK 179+560	186632	0	0	0	46041	878	128	52	0.087
			0	5293	0	0	4049				
B90	TM11 armco D1500 viab. Locale PK 180+060	PK 180+060	54122	0	0	0	16248	364	63	32	0.085
			0	0	0	7538					
B100	TM12 armco D1500 svincolo 2 rotatoria 2	svincolo 2	107233	0	0	0	31558	1136	32	19	0.011
			0	0	0	13761					
B110	TM13 armco D2000 PK 181+270	PK 181+270	42782	0	0	0	16711	590	23	10	0.022
			0	0	12284	0					

	tombino / opera	PK	area Permeabile esterna (mq)	area impermeabile (mq)	aree a verde intercluse rampe (mq)	aree con rampe, scambi di corsia e relative zone intercluse a verde (mq)	area equivalente principale (mq)	L max (m)	H max (m)	H min (m)	pendenza (m/m)
			0	0	7397	0					
			0	0	6534	0					
			0	5882	0	0					
B120	TM17 armco D1500 strada vicinale 3	strada vicinale 3	103655	0	0	0	23322	773	19	12	0.009

4.3 Portate di piena

I valori del tempo di concentrazione (calcolato con la formula di Kirpich), del tempo di concentrazione adottato, della corrispondenza intensità di precipitazione (in mm/h) e della portata con tempo di ritorno di 200 anni sono riportati nella seguente tabella. Le portate calcolate sono utilizzate quindi per il dimensionamento (relazione idraulica).

Per quanto riguarda il tempo di concentrazione, si è assunto un tempo minimo pari a 20 minuti.

	tombino / opera	PK	tempo concentrazione Kirpich (h)	tempo minimo adottato (h)	intensità di precipitazione (mm/h)	Q idrologica (m3/s)
B10	recapito verso ricettore fuori lotto	-	0.39	0.39	105	1.17
B20	TM 15 D1500 armco PK 173+500	173+500	0.14	0.33	113	1.01

	tombino / opera	PK	tempo concentraz ione Kirpich (h)	tempo minimo adottato (h)	intensità di precipita zione (mm/h)	Q idrologica (m3/s)
B40	TM01 D1500 armco PK 174+370	174+370	0.16	0.33	113	1.27
B50	TM02 armco D2000 PK 175+736	175+736	0.93	0.93	69	2.69
B60	TM04 armco D1500 PK 177+730	177+730	0.65	0.65	82	3.13
B63	TM06 armco D1500 rampa B svincolo 1	Sv1	0.07	0.33	113	0.51
B61	TM05 armco D1500 rampa G svincolo 1	Sv1	0.12	0.33	113	0.08
B62	TM07 armco D1500 rampa B svincolo 1	Sv1	0.17	0.33	113	0.71
B64	TM08 armco D1500 svincolo 1 PK 178+600	178+600	0.16	0.33	113	0.90
B70	TM09 armco D2000 PK 179+462	PK 179+462	0.33	0.33	113	1.33
B80	TM10 armco D2000 PK 179+560	PK 179+960	0.21	0.33	113	1.45
B90	TM11 armco D1500 viab. Locale PK 180+060	PK 180+060	0.11	0.33	113	0.51
B100	TM12 armco D1500 svincolo 2 rotatoria 2	svincolo 2	0.55	0.55	89	0.78
B110	TM13 armco D2000 PK 181+270	PK 181+270	0.26	0.33	113	0.53
B120	TM17 armco D1500 strada vicinale 3	strada vicinale 3	0.45	0.45	98	0.64