

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO

U.O. CORPO STRADALE EGEO TECNICA

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA POTENZA - FOGGIA - AMMODERNAMENTO

SOTTOPROGETTO 2: ELETTRIFICAZIONE, RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE.

LOTTO 2 - RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE

Relazione idrologica

SCALA:

-

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

IA0X 02 D 11 ID RI0001 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	M. Villani	FEB. 2015	B. Cabas	FEB. 2015	G. LESTINGI	FEB. 2015	F. Sacchi	FEB. 2015

ITALFERR STRADALE EGEO TECNICA
U.O. CORPO STRADALE EGEO TECNICA
Dott. FRANCESCO SACCHI
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
n. 22072

File: IA0X02D11RIID0001001A.doc

n. Elab.:

L2.47

RELAZIONE IDROLOGICA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
IA0X	02 D 11	RI	ID0001	001	A	2 di 54

INDICE

1	PREMESSA	6
2	SINTESI TECNICA DESCRITTIVA	8
3	INQUADRAMENTO DELL'AREA	9
3.1	Il subappennino Dauno	9
3.2	Il Tavoliere	9
3.3	L'Appennino Lucano	10
4	I BACINI IDROGRAFICI	12
4.1	I bacini della Puglia Settentrionale	12
4.1.1	<i>Il Torrente Cervaro</i>	12
4.1.2	<i>Il Torrente Carapelle</i>	13
4.1.3	<i>Il Fiume Ofanto</i>	14
5	INQUADRAMENTO NORMATIVO	19
5.1	Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Puglia	19
6	IL RILIEVO DELLA ZONA E L'IDENTIFICAZIONE DELLA RETE IDROGRAFICA	22
6.1	L'individuazione degli attraversamenti idraulici lungo le tratte ferroviarie Cervaro - Rocchetta Scalo e Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi	24
7	MODELLI PROBABILISTICI PER L'ANALISI STATISTICA DELLE PIOGGE E DELLE PORTATE	28
7.1	Il modello probabilistico TCEV	28
7.2	Approccio gerarchico alla stima regionale dei parametri	29
7.3	Curve regionali di crescita delle precipitazioni	31
8	ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI CON IL METODO VAPI	32
9	DEFINIZIONE DELLE PORTATE	37
9.1	Il metodo cinematico	37
9.2	Portate in corrispondenza degli attraversamenti idraulici delle tratte Cervaro – Rocchetta Scalo e Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi	41
10	BIBLIOGRAFIA	54

RELAZIONE IDROLOGICA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
IA0X	02 D 11	RI	ID0001	001	A	3 di 54

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Inquadramento dell'area.	8
Figura 2 – Traversa di Santa Venere sul Fiume Ofanto.....	17
Figura 3 – Aree di rischio e aree di esondazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Puglia, in rosso la tratta ferroviaria Cervaro-Rocchetta-S.Nicola di Melfi.	21
Figura 4 – DEM della Nasa	22
Figura 5 - DTM della Regione Puglia.	23
Figura 6 – Zone omogenee rispetto al valor medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere.	35
Figura 7 – Metodo cinematico: schema del bacino e idrogramma di piena per differenti durate di precipitazione.	38
Figura 8 – Ripartizione dei bacini degli attraversamenti tra le zone pluviometriche omogenee (VAPI). ...	41
Figura 9 – Grafico $Q=cS^n$ per i risultati del modello cinematico per $Tr = 10$ anni.	49
Figura 10 – Grafico $Q=cS^n$ per i risultati del modello cinematico per $Tr = 50$ anni.	50
Figura 11 – Grafico $Q=cS^n$ per i risultati del modello cinematico per $Tr = 100$ anni.	50
Figura 12 – Grafico $Q=cS^n$ per i risultati del modello cinematico per $Tr = 200$ anni.	51
Figura 13 – Grafico $Q=cS^n$ per i risultati del modello cinematico per $Tr = 300$ anni.	51

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Elenco degli attraversamenti lungo la linea ferroviaria storica Cervaro - Rocchetta Scalo per i quali è prevista la demolizione e il rifacimento per motivi di criticità strutturale	24
Tabella 2 – Elenco degli attraversamenti idraulici di nuova realizzazione lungo la linea ferroviaria in variante.....	24
Tabella 3 – Elenco degli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la linea ferroviaria Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi.....	25
Tabella 4 – Elenco degli attraversamenti di nuova realizzazione lungo le viabilità di ricucitura alla viabilità esistente.	25
Tabella 6 – Elenco dei bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento sulla linea ferroviaria Cervaro – Rocchetta Scalo.	26
Tabella 7 – Elenco dei bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la linea ferroviaria in variante	26
Tabella 8 – Elenco dei bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la linea ferroviaria Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi.	27
Tabella 9 – Elenco dei bacini afferenti agli attraversamenti di nuova realizzazione lungo le viabilità di ricucitura alla viabilità esistente.....	27
Tabella 11 - Parametri del VAPI per il I e II livello di regionalizzazione per la zona in esame ricavata dall'Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia.	33
Tabella 12 – Valori del fattore di crescita per la zona in esame ricavata dall' Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia.	33
Tabella 13 - Parametri del VAPI per il III livello di regionalizzazione per la zona in esame ricavata dall' Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia.....	36
Tabella 14 - Parametro N della formula di Kerby per il calcolo del tempo di corrivazione.....	40
Tabella 15 - Elenco delle caratteristiche geomorfologiche dei bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la tratta Cervaro - Rocchetta Scalo.....	42
Tabella 16 - Elenco delle caratteristiche geomorfologiche dei bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la linea ferroviaria in variante.....	42
Tabella 17 - Elenco delle caratteristiche geomorfologiche dei bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la tratta Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi.....	43
Tabella 18 - Elenco delle caratteristiche geomorfologiche dei bacini afferenti agli attraversamenti di nuova realizzazione lungo le viabilità di ricucitura alla viabilità esistente	43
Tabella 20 - Elenco dei tempi di corrivazione relativi ai bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la tratta Cervaro - Rocchetta Scalo.....	44
Tabella 21 - Elenco dei tempi di corrivazione relativi ai bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la linea ferroviaria in variante.....	44
Tabella 22 - Elenco dei tempi di corrivazione relativi ai bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la tratta Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi.....	45

RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
		IA0X	02 D 11	RI	ID0001	001	A

Tabella 23 – Elenco dei tempi di corrivazione relativi ai bacini afferenti agli attraversamenti di nuova realizzazione lungo le viabilità di ricucitura alla viabilità esistente 45

Tabella 25 – Elenco delle precipitazioni relative ai bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la tratta Cervaro – Rocchetta Scalo..... 45

Tabella 26 – Elenco delle precipitazioni relative ai bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la linea ferroviaria in variante..... 46

Tabella 27 – Elenco delle precipitazioni relative ai bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la tratta Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi. 46

Tabella 28 – Elenco delle precipitazioni relative ai bacini afferenti agli attraversamenti idraulici di nuova realizzazione lungo le viabilità di ricucitura alla viabilità esistente 46

Tabella 30 – Elenco delle portate calcolate per Tr 10, 50, 100, 200 e 300 anni relative agli attraversamenti idraulici lungo la tratta Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi. 47

Tabella 31 – Elenco delle portate calcolate per Tr 10, 50, 100, 200 e 300 anni relative agli attraversamenti idraulici lungo la linea ferroviaria in variante 47

Tabella 32 – Elenco delle portate calcolate per Tr 10, 50, 100, 200 e 300 anni relative agli attraversamenti idraulici lungo la tratta Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi. 48

Tabella 33 – Elenco delle portate calcolate per Tr 10, 50, 100, 200 e 300 anni relative agli attraversamenti idraulici di nuova realizzazione lungo le viabilità di ricucitura alla viabilità..... 48

Tabella 35 – Compluvi minori: portate desunte dalla formulazione $Q=cS^n$ per gli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la linea storica Cervaro - Rocchetta Scalo. 52

Tabella 36 – Compluvi minori: portate desunte dalla formulazione $Q=cS^n$ per gli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la linea ferroviaria in variante..... 53

Tabella 37 – Compluvi minori: portate desunte dalla formulazione $Q=cS^n$ per gli attraversamenti idraulici oggetto di intervento della tratta Cervaro - Rocchetta Scalo..... 53

Tabella 38 – Compluvi minori: portate desunte dalla formulazione $Q=cS^n$ per gli attraversamenti idraulici di nuova realizzazione lungo le viabilità di ricucitura alla viabilità esistente 53

RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
	IA0X	02 D 11	RI	ID0001	001	A	6 di 54

1 PREMESSA

Il presente elaborato è parte integrante del progetto di Ammodernamento della linea Foggia-Potenza - Sottoprogetto 2 - Elettificazione, rettifiche di tracciato, soppressione P.L. e consolidamento sede - Lotto 2 - Rettifiche di tracciato, soppressione P.L. e consolidamento sede. Il suddetto progetto prevede il rifacimento dei tombini idraulici esistenti sulle tratte Cervaro- Rocchetta e Rocchetta-S.Nicola di Melfi che risultano inadeguati dal punto di vista strutturale. Inoltre, nello scenario di velocizzazione/riclassificazione di cui sopra si rendono necessarie due varianti di tracciato tra la Pk 36+000 e la Pk 38+000 circa e tra la Pk 43+000 e la Pk 45+000 circa con conseguente realizzazione di nuovi attraversamenti idraulici.

La presente relazione descrive le caratteristiche idrauliche del territorio attraversato dalle tratte ferroviarie Cervaro - Rocchetta Scalo e Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi, l'interazione delle stesse con il reticolo idrografico e la metodologia di calcolo delle portate afferenti agli attraversamenti idraulici disposti lungo la tratta ferroviaria per i quali è prevista la demolizione e il rifacimento per motivi di insufficienza dal punto di vista strutturale e degli attraversamenti idraulici di nuova realizzazione che si trovano lungo le varianti di tracciato e le viabilità di ricucitura.

L'analisi idrologica è stata condotta sulla base delle seguenti fasi:

- individuazione degli attraversamenti idraulici lungo la linea ferroviaria storica che risultano inadeguati dal punto di vista strutturale;
- individuazione dei nuovi attraversamenti idraulici necessari a garantire la trasparenza idraulica e il collettamento delle acque di piattaforma lungo le varianti di tracciato e le viabilità di ricucitura;
- analisi del modello digitale del suolo per la determinazione dei bacini scolanti afferenti ad ogni attraversamento;
- sviluppo della metodologia VAPI per l'individuazione delle portate di verifica e progetto per ogni attraversamento idraulico.

A supporto della progettazione, per la verifica di compatibilità idraulica del progetto, si fa riferimento ai seguenti documenti di pianificazione:



CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA
DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO
LINEA FOGGIA-POTENZA – AMMODERNAMENTO
SOTTOPROGETTO 2 – Studio idrologico-idraulico e analisi del rischio delle opere di
attraversamento

RELAZIONE IDROLOGICA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
IA0X	02 D 11	RI	ID0001	001	A	7 di 54

- secondo Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico redatto dall'Autorità di Bacino della Regione Puglia ed adottato con delibera del Comitato Istituzionale n.25 in data 15.12.2004.

2 SINTESI TECNICA DESCRITTIVA

La linea ferroviaria Foggia - Potenza si sviluppa in direzione Nord – Sud per circa 110 km, per metà nella regione Puglia e per l'altra metà nella regione Basilicata. La tratta Cervaro - Rocchetta Scalo è lunga circa 40 km e si colloca interamente nella Regione Puglia, in provincia di Foggia. La tratta Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi è lunga circa 12 km, in direzione Ovest – Est, e si colloca interamente nella Regione Basilicata, in provincia di Potenza. In Figura 1 è illustrato un inquadramento dell'area di studio.



Figura 1 - Inquadramento dell'area.

3 INQUADRAMENTO DELL'AREA

Il territorio oggetto di studio, dove si sviluppa la tratta ferroviaria Foggia – Potenza, ricade nell'area del subappennino Dauno, del Tavoliere delle Puglie e dell'Appennino Lucano. Si riporta di seguito una descrizione climatica e geomorfologica tratta dai Piani Stralcio di Assetto Idrogeologico.

3.1 Il subappennino Dauno

La Puglia comprende la parte più orientale della catena appenninica, costituita da una dorsale allineata in direzione Nord-Ovest – Sud-Est (Monti della Daunia), che degrada prima rapidamente e poi dolcemente sino all'estesa pianura del Tavoliere. È l'unica area che non si affaccia sul mare, risentendo così di un clima più continentale: le temperature medie annue, infatti, sono le più basse della regione (11,1° C a Monteleone di Puglia).

Si tratta di un'area che, dal punto di vista geomorfologico, è soggetta ad una continua trasformazione dovuta alla presenza di piccole e grandi frane favorite dalla natura dei terreni affioranti, dalla sismicità dell'area, dall'acclività dei luoghi, da una inadeguata copertura arborea e dal clima. Numerosi centri del Subappennino dauno vedono minacciata la propria esistenza da dissesti profondi a cui solo una sistematicità negli interventi può porre rimedio.

Fra le forme del paesaggio prevalgono quelle dolci, incise morbidamente in terreni argillosi, rese articolate solo dai movimenti di frana. La rete idrografica appare poco evoluta. I corsi d'acqua sono in prevalenza di tipo obsequente, fra di loro paralleli e con un regime tipicamente torrentizio legato alle piogge tardo autunnali e primaverili.

3.2 Il Tavoliere

È un'estesa piana alluvionale che si estende in direzione Sud Est – Nord Ovest dal Fiume Ofanto sino al Lago di Lesina. Il clima si mantiene pressoché uniforme, a parte il tratto sud-orientale aperto sul Mare Adriatico, sensibilmente più mite per l'effetto barriera del promontorio Garganico a Nord-Nord Est. La temperatura media annua è di 15.5 ° C, con un massimo estivo di 25.5°C ed un minimo invernale di 6°C e la quantità media annua di pioggia è la più bassa di tutta la regione (<400 mm).

La vegetazione spontanea è praticamente assente, perché sostituita da colture cerealicole e orticole, diffuse in tutta l'area da tempi assai remoti.

I terreni in esso affioranti sono costituiti soprattutto da sedimenti clastici plio-quadernari sui quali si estendono grandi manti alluvionali pleistocenici ed olocenici.

In relazione, dunque, alle sue condizioni geologiche, nel Tavoliere si possono distinguere, da Ovest verso Est, le seguenti subzone: un'area collinare, una seconda area costituita da più ripiani, una vasta pianura alluvionale antica, una piana costiera ed una zona litorale.

La prima borda il Subappennino ed è rappresentata da rilievi collinari (300-400 m di quota) sui cui versanti sono ben visibili gli effetti di fenomeni erosivi superficiali e profondi. La zona a ripiani deve la sua attuale conformazione al ritiro del mare che ha lasciato una serie di terrazzi marini digradanti verso l'Adriatico, a luoghi delimitati verso Est da scarpate poco elevate, corrispondenti a ripe d'abrasione. Si tratta di morfologie ben conservate soprattutto nella parte meridionale del Tavoliere, mentre altrove le azioni erosive hanno ridotto tali terrazzi in piccoli residui lembi, completamente circondati in qualche caso da depositi alluvionali. Quest'ultimo tipo di sedimenti si sviluppa prevalentemente nella parte nord-orientale della subregione, ad esempio presso Foggia, dove costituisce un'estesa pianura.

La piana costiera si raccorda con la superficie dei sedimenti alluvionali recenti ed attuali che colmano il fondovalle dei principali corsi d'acqua. Essa corrisponde, in alcune aree, ad antiche paludi successivamente colmate per fatti naturali ed antropici.

Il litorale, infine, si presenta basso, sabbioso e ricco di dune allungate parallelamente alla riva.

3.3 L'Appennino Lucano

La catena montuosa dell'Appennino Lucano si dispone ad arco lungo il bordo occidentale della Regione Basilicata e culmina a sud nei rilievi della catena del Pollino, segnando il confine con la Calabria.

In quest'area la catena appenninica non raggiunge altitudini elevate, ad eccezione dei Monti del Pollino (oltre 2.200 m.), dei Monti del Sirino (2.000 m.) e di Monte Alpi (1.900 m.), e degrada verso est nell'ampia fascia collinare del materano la quale si affaccia a nord-est sull'altipiano delle Murge e a sud-est sulle aree pianeggianti del Metapontino.

RELAZIONE IDROLOGICA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
IA0X	02 D 11	RI	ID0001	001	A	11 di 54

Il territorio è caratterizzato da un esteso ed articolato reticolo idrografico i cui corsi d'acqua principali sono:

- il Bradano, il Basento, il Cavone, l'Agri ed il Sinni, che, dopo aver attraversato con andamento pressoché parallelo la regione Basilicata in direzione NO-SE, sfociano nel Mare Ionio;
- il fiume Noce, che dopo aver attraversato il settore sud-occidentale della regione Basilicata, sfocia nel Mar Tirreno.

4 I BACINI IDROGRAFICI

Si riporta di seguito una descrizione dei bacini idrografici dei principali corsi d'acqua del territorio oggetto di studio tratta dai Piani Stralcio di Assetto Idrogeologico.

4.1 I bacini della Puglia Settentrionale

La morfologia del Subappennino dauno, con quote che vanno dai 500 ai 1 150 m s.l.m nella sua parte settentrionale (che si estende grosso modo sino ad Orsara di Puglia) e comprese tra i 500 e i 950 m s.m.m. nella sua porzione più meridionale, è caratterizzata da un reticolo idrografico ben sviluppato.

In quest'area la discreta densità di drenaggio e la notevole pendenza determinano la formazione, nei periodi invernali, di piene improvvise e di breve durata, che esercitano una notevole azione erosiva nei confronti di formazioni geologiche a prevalente matrice sabbioso-limoso-argillosa. I terreni permeabili, invece, una volta saturi di acqua di infiltrazione, cedono la stessa in alveo, determinando deflussi idrici anche in periodi invernali siccitosi.

In definitiva, la maggior parte dei corsi d'acqua del Subappennino dauno evidenziano una generale tendenza all'erosione ed al conseguente trasporto torbido.

Il Subappennino dauno meridionale e il basso Tavoliere sono percorsi dal Cervaro, dal Carapelle e da una serie di canali minori che sfociano, quando non si impantanano, nel mare Adriatico.

In definitiva si tratta di incisioni povere d'acqua, poco approfondite, che hanno esercitato una debole attività erosiva. Generalmente le prime precipitazioni intense autunnali non determinano deflussi idrici di interesse, tant'è che l'alveo resta asciutto a volte fino a dicembre. Soltanto quando i terreni affioranti nel bacino imbrifero risultano saturati dalle precipitazioni liquide e solide stagionali, allora improvvisamente si formano onde di piena caratterizzate da portate e coefficienti di deflusso elevati e di durata contenuta.

4.1.1 Il Torrente Cervaro

Il torrente Cervaro nasce dal monte Le Felci (853 m di quota) presso Monteleone di Puglia, si immette in provincia di Avellino e rientra in quella di Foggia fra Panni e Montaguto; incanalato

RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
	IA0X	02 D 11	RI	ID0001	001	A	13 di 54

nell'ultimo tratto, prende il nome di canale Cervaro Nuovo e sfocia, dopo circa 80 km di percorso, nel golfo di Manfredonia, mentre due rami si immettono nelle vasche di colmata del Cervaro. Costeggiato, da Radogna a Stradola, dalla SS 90, riceve a sinistra il torrente Lavella e il torrente Sannoro, a destra il torrente Bilerà.

I sottobacini del 1° ordine sono, da Nord a Sud, per il Cervaro:

- Torrente Sannoro;
- Torrente Lavella;
- Torrente Avella;
- Torrente Iazzano;
- Torrente Biletra;
- Fosso Valle dell'Angelo;
- Fosso Pozzo Vitolo.

L'analisi dei dati idrometrografici (rilevabili per il torrente Cervaro alla stazione di Incoronata) evidenzia anche per questo corso d'acqua un regime torrentizio.

4.1.2 Il Torrente Carapelle

Il torrente Carapelle nasce dall'Appennino campano, in provincia di Benevento; ha origine dall'unione del torrente Calaggio col torrente San Gennaro. Canalizzato verso il suo sfocio in mare, dà origine al canale Carapellotto ed al canale Regina. Sfocia, dopo circa 85 km di percorso, nel golfo di Manfredonia a Nord di Torre Rivoli.

Affluente di sinistra è il torrente Carapellotto; di destra il canale Marana La Pidocchiosa e il canale Pozzo Pascuccio.

I sottobacini del 1° ordine sono, da Nord a Sud, per il Carapelle:

- Torrente Carapellotto;
- Vallone Legnano;

RELAZIONE IDROLOGICA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
IA0X	02 D 11	RI	ID0001	001	A	14 di 54

- Fosso Viticoni;
- Canale Colotti;
- Torrente Frugno;
- Torrente Calaggio.

L'analisi dei dati idrometrografici, rilevabili per il torrente Carapelle alla stazione di Ponte Ortona-Castelluccio dei Sauri, evidenzia un regime torrentizio.

4.1.3 Il Fiume Ofanto

Il fiume Ofanto ha un bacino che interessa il territorio di tre regioni, Campania, Basilicata e Puglia, ed ha forma pressoché trapezoidale, superficie di 2.790 Km² e altitudine media di 450 m. La lunghezza dell'asta principale è di circa 165 Km, l'afflusso medio annuo è di circa 720 mm; la temperatura media annua è di poco superiore a 14 °C. I corsi d'acqua secondari del fiume Ofanto si sviluppano in un ambiente geologico e morfostrutturale chiaramente appenninico, con rare eccezioni (per esempio il torrente Locone).

Anticamente chiamato Aufidus, l'Ofanto nasce in Campania nei pressi dell'abitato di Nusco, passa per la Basilicata e sfocia in Puglia, dopo aver attraversato, con tortuosi meandri, le province di Avellino, Potenza, Foggia e Bari. In particolare, esso si origina a Sud del crinale appenninico, nell'altopiano irpino, dalle falde del piano dell'Angelo dei Lombardi, in provincia di Avellino, a quota 715 m. s.l.m. Si dirige prima verso Nord-Est, lungo il margine settentrionale dell'altopiano delle Murge pugliesi e, dopo un percorso complessivo di 165 Km, si versa nell'Adriatico a Nord di Barletta, con foce del tipo originariamente a delta, in rapido arretramento verso un estuario. Attraversa quindi la regione Puglia per circa 85 Km, mentre per altri 20 km il suo decorso segna il confine tra Puglia e Basilicata.

Il fiume Ofanto ha un bacino che interessa il territorio di tre regioni, Campania, Basilicata e Puglia ed ha forma pressoché trapezoidale, superficie di 2.790 Km², perimetro di 320 km, altitudine media di 450 m ed una pendenza media pari a 5,33%. L'altezza del bacino varia da un massimo di 1.453 metri, raggiunti in Campania nell'alta valle di Conza, passando dai 700 metri in Basilicata, fino alla bassa valle in Puglia dove l'altezza media si aggira sui 200-300 m. Il valore della piovosità media del bacino idrografico è di 780 mm annui.

Il regime dei deflussi è principalmente condizionato da quello degli afflussi, data la mancanza di forti precipitazioni nevose e di apporti glaciali. La portata delle sue acque è molto modesta, ad

RELAZIONE IDROLOGICA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
IA0X	02 D 11	RI	ID0001	001	A	15 di 54

andamento stagionale, con punte di massimo afflusso durante il mese di settembre e di dicembre e di minimo afflusso nei mesi estivi di luglio ed agosto. In particolare la sua portata varia da un minimo di 1 mc/s in agosto ad un massimo di 35-40 mc/s in gennaio, con media annuale di poco superiore ai 15 mc/s.

La densità di drenaggio è 22,16 km/km², l'afflusso medio annuo è di circa 720 mm. La temperatura media annua è di poco superiore a 14 °C.

Gli affluenti più importanti sono: in destra, il torrente Ficocchia, la fiumara di Atella, il torrente Olivento, il torrente Locone, mentre in sinistra il torrente Isca, il torrente Sarda, il torrente Orata, il torrente Osento, e Marana Capaciotti.

4.1.3.1 Caratteri morfologici

Dal punto di vista morfologico il fiume Ofanto, dal tratto iniziale alla sua foce nel Mar Adriatico, percorre e condiziona diversi ambienti morfologici. Nel tratto iniziale del suo corso attraversa la catena sud appenninica, nel suo corso medio borda il versante occidentale del massiccio vulcanico del Monte Vulture che si erge sul margine orientale della Catena appenninica.

Nella parte media e nel tratto finale del suo corso attraversa la parte più meridionale del Tavoliere che, come si è già detto, rappresenta la più vasta pianura dell'Italia meridionale. Il corso d'acqua nel bassopiano del Tavoliere presenta un tracciato ad andamento subparallelo con direzione da Sud-Ovest a Nord-Est.

Nel tratto di Tavoliere attraversato dal fiume Ofanto si distinguono, da Ovest verso Est, le seguenti subzone: una zona che borda l'Appennino caratterizzata da rilievi collinari (300-400 m di quota); un'area a terrazzi digradanti verso l'Adriatico, creati dal progressivo ritiro del mare; una vasta pianura alluvionale antica; una piana costiera che si raccorda con la superficie dei sedimenti alluvionali recenti ed attuali, che colmano il fondovalle dell'Ofanto e dei principali corsi d'acqua; una zona litorale.

La parte più occidentale dell'altopiano delle Murge ricade nel bacino idrografico del fiume Ofanto. L'Altopiano delle Murge in questo tratto è delimitato a Nord-Ovest da scarpate di piani di faglia ed a Nord-Est da scarpate di piani di faglia, arretrate per erosione parallelamente al mare Adriatico. I terrazzi marini, i più elevati dei quali sono ubicati in media sui 300 metri di quota ed i più bassi sui 4-5 metri, sono stati creati dal graduale sollevamento delle Murge nel

RELAZIONE IDROLOGICA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
IA0X	02 D 11	RI	ID0001	001	A	16 di 54

corso del Quaternario. Essi sono delimitati da scarpate molto elevate, corrispondenti a ripe d'abrasione o anche a piani di faglia rielaborati dall'azione del mare.

4.1.3.2 La traversa di Santa Venere

Circa 200 m a monte dell'attraversamento ferroviario è presente la traversa di Santa Venere, facente parte dello schema idrico dell'Ofanto, destinato a soddisfare i fabbisogni, potabili, irrigui ed industriali della Basilicata, della Puglia e della Campania.

Si tratta di un complesso sistema di opere interconnesse, comprendente: gli invasi di Conza sul fiume Ofanto e di Pesco San Pietro, sul torrente Osento, che rilasciano le acque invasate nel fiume Ofanto, intercettate a valle dalla traversa Santa Venere; la traversa Santa Venere, in agro di Melfi (Pz) in prossimità della stazione ferroviaria di Rocchetta S. Antonio (Foggia), che trasferisce parte delle acque regolate agli invasi di Marana Capacciotti e del Locone; gli invasi di Marana Capacciotti e di Monte Melillo sul torrente Locone, ubicati in Puglia, nella parte meridionale del bacino idrografico; l'invaso di Abate Alonia sul torrente Rendina in Basilicata, che raccoglie le acque della fiumara di Venosa e del torrente Arcidiaconata; l'invaso di Toppo di Francia sul torrente Lampeggiano in agro di Lavello (Pz), attualmente fuori esercizio.

Tra le strutture di sbarramento dello Schema Ofanto, la traversa di S. Venere risulta il principale snodo in quanto consente l'integrazione delle disponibilità degli invasi del Rendina, di Monte Melillo e di Marana Capacciotti e alimenta i compresori irrigui in riva destra e sinistra dell'Ofanto ricadenti sia in Puglia che Basilicata.

RELAZIONE IDROLOGICA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
IA0X	02 D 11	RI	ID0001	001	A	17 di 54

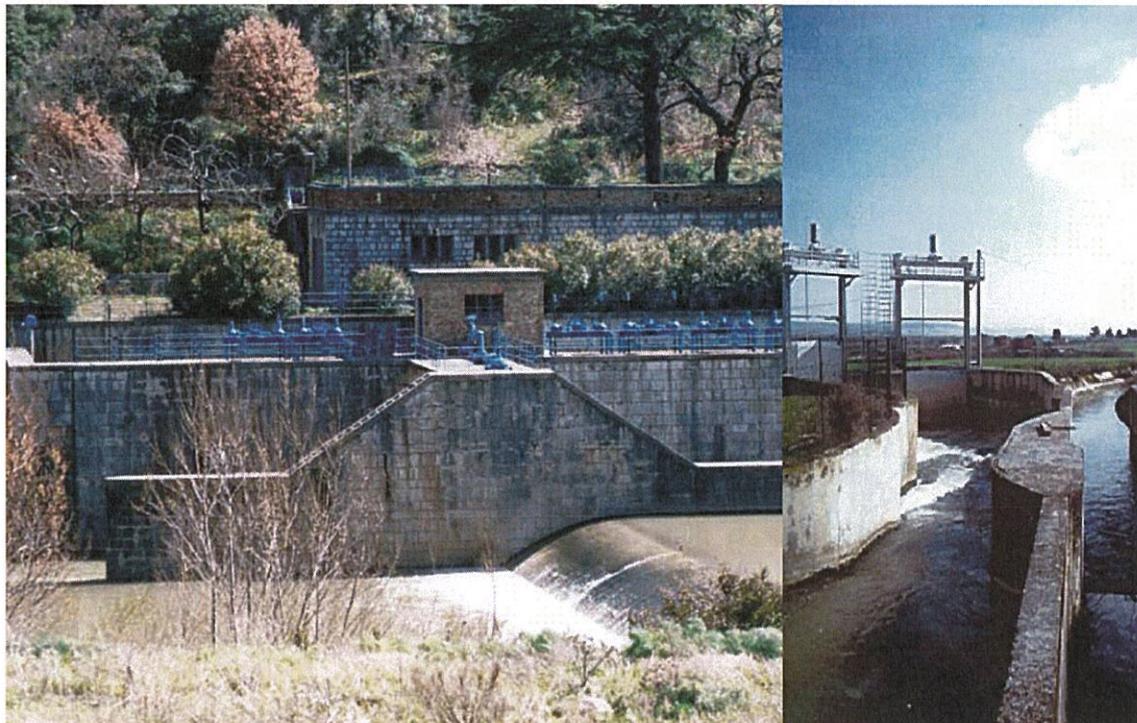


Figura 2 – Traversa di Santa Venere sul Fiume Ofanto.

Nel suo complesso lo schema alimenta le aree irrigue nei territori di competenza dei Consorzi di Bonifica pugliesi, Terre d'Apulia e Capitanata, e di quello lucano Vulture Alto Bradano, e serve altresì l'area industriale di Melfi. Le acque intercettate dall'invaso del Monte Melillo soddisfano anche parte dei fabbisogni idropotabili pugliesi.

La traversa, ubicata sull'asta principale del fiume Ofanto nell'omonima località dell'agro di Melfi, in prossimità della stazione ferroviaria di Rocchetta Sant'Antonio Scalo, è costituita da una soglia libera tracimabile, proporzionata per il transito delle portate di piena, posta a quota 213.45 m s.m.m., cui fa seguito una classica opera di dissipazione.

La presa, presidiata da paratoia, posta in sponda destra idraulica, è costituita da cinque luci, di due differenti dimensioni: due luci delle dimensioni nette interne $L = 2,0$ m e $H = 1,5$ m con quota inferiore pari a 211,75 m s.m.m. e tre luci delle dimensioni nette interne $L = 2,0$ m e $H = 1,0$ m con quota inferiore pari a 212,25 m s.m.m.

In esercizio dal 1960 e priva di capacità di accumulo, ha la presa dimensionata per una portata di $12 \text{ m}^3/\text{s}$. La traversa intercetta i rilasci in alveo degli invasi di monte unitamente ai superi degli

RELAZIONE IDROLOGICA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
IA0X	02 D 11	RI	ID0001	001	A	18 di 54

stessi ed ai deflussi naturali del bacino residuo. Durante la stagione invernale, contribuisce ad integrare le disponibilità dei bacini dell'invaso del Locone (attualmente per mezzo dell'adduttore in pressione "S. Venere - Locone"), e di Marana Capacciotti (per mezzo dell'adduttore che si sviluppa dal partitore all'invaso stesso). Durante la stagione primaverile - estiva, invece, l'acqua captata alimenta una parte dei compresori irrigui della destra e della sinistra Ofanto.

Sono in via di completamento le opere di miglioramento funzionale della capacità di derivazione della traversa sino al valore di 16 m³/s di portata.

La gestione della traversa è affidata al Consorzio di Bonifica Vulture - Alto Bradano.

RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
	IA0X	02 D 11	RI	ID0001	001	A	19 di 54

5 INQUADRAMENTO NORMATIVO

L'analisi condotta nel presente studio ha preso in considerazione anche gli strumenti di pianificazione territoriale in vigore.

5.1 Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Puglia

Proprio all'interno degli strumenti legislativi di recente emanazione (adozione dicembre 2004, approvazione novembre 2005), si è adottato il P.A.I., Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico adottato dall'Autorità di Bacino della Puglia che individua le aree a rischio idraulico ed idrogeologico.

Nella Relazione di Piano sono individuate le aree soggette a pericolosità idraulica attraverso l'individuazione, la localizzazione e la caratterizzazione degli eventi alluvionali che abbiano prodotto effetti sul territorio, in particolare danni a persone o cose, o, semplicemente, abbiano creato condizioni di disagio o allarme. Tale individuazione è un importante strumento che ha condotto alla delimitazione delle aree a potenziale rischio inondazione, distinte in aree a bassa probabilità di inondazione, a moderata probabilità e ad alta probabilità, con le seguenti caratteristiche:

- **Aree a bassa probabilità di inondazione (B.P.)** - Porzioni di territorio soggette ad essere allagate con tempo di ritorno (Tr) compreso tra 200 e 500 anni.
- **Aree a moderata probabilità di inondazione (M.P.)** - Porzioni di territorio soggette ad essere allagate con tempo di ritorno (Tr) compreso tra 30 e 200 anni.
- **Aree ad alta probabilità di inondazione (A.P.)** - Porzioni di territorio soggette ad essere allagate con tempo di ritorno (Tr) inferiore o pari a 30 anni.

Nell'analisi del rischio idrogeologico, l'individuazione delle aree a rischio idrogeologico si ricava per sovrapposizione delle zone soggette a pericolosità con gli elementi a rischio idrogeomorfologico, definiti in 5 classi:

- E5 = agglomerati urbani, aree industriali e/o artigianali, centri abitati estesi, edifici isolati, dighe e invasi idrici, strutture ricreative e campeggi;
- E4 = strade statali, strade provinciali, strade comunali (unica via di collegamento all'abitato) e **linee ferroviarie**;

RELAZIONE IDROLOGICA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
IA0X	02 D 11	RI	ID0001	001	A	20 di 54

- E3 = linee elettriche, acquedotti, fognature, depuratori e strade secondarie;
- E2 = impianti sportivi con soli manufatti di servizio, colture agricole intensive;
- E1 = assenza di insediamenti, attività antropiche e patrimonio ambientale.

Le aree di rischio sono classificate come:

- Aree a rischio moderato R1: per il quale i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono marginali;
- Aree a rischio medio R2: per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;
- Aree a rischio elevato R3: per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture, con conseguente inagibilità degli stessi, l'interruzione di funzionalità delle attività socioeconomiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale;
- Aree a rischio molto elevato R4: per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale e la distruzione di attività socioeconomiche.

In

Figura 3 è riportata la disposizione planimetrica delle aree a diversa probabilità di esondazione definite dall'AdB della Puglia all'interno del Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico. Si nota come diverse aree di esondazione interessino la tratta ferroviaria oggetto di studio, in particolare in corrispondenza degli attraversamenti dei tre corsi d'acqua principali (Cervaro, Carapelle ed Ofanto) e per un ampio tratto della linea Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi.

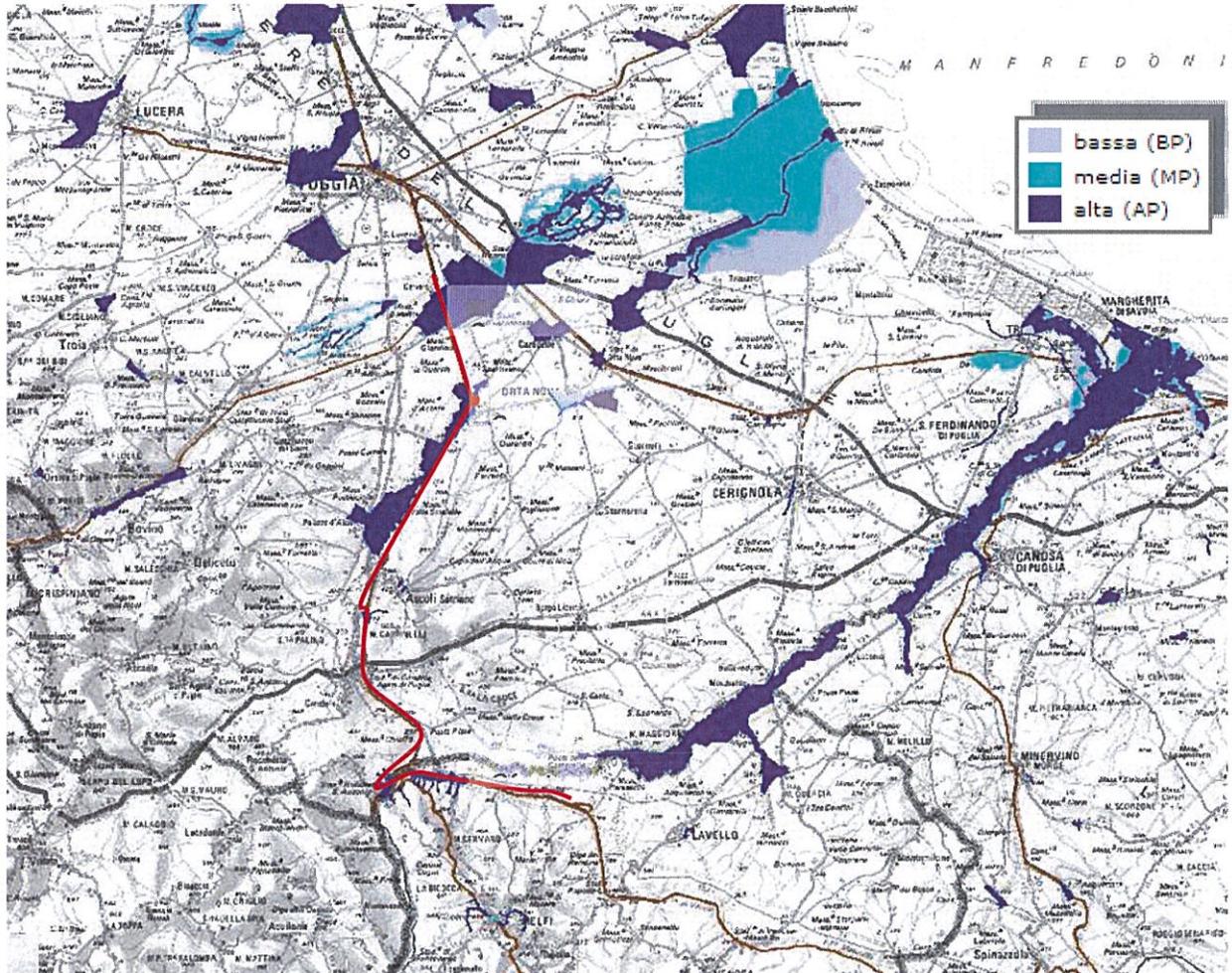


Figura 3 – Aree di rischio e aree di esondazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Puglia, in rosso la tratta ferroviaria Cervaro-Rocchetta-S.Nicola di Melfi.

6 IL RILIEVO DELLA ZONA E L'IDENTIFICAZIONE DELLA RETE IDROGRAFICA

Per ottenere una rappresentazione quotata della zona di analisi al fine di ricostruire la complessa rete idrografica dell'area e la delimitazione del bacino per ciascun attraversamento idraulico lungo la tratta ferroviaria Foggia-Rocchetta-San Nicola sono stati utilizzati:

- il DEM (Digital Elevation Model) di tutta la porzione di territorio alla risoluzione di 30 m, disponibile presso il sito ASTER Global Digital Elevation Model (ASTER GDEM) e realizzato grazie al progetto della NASA, Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM).

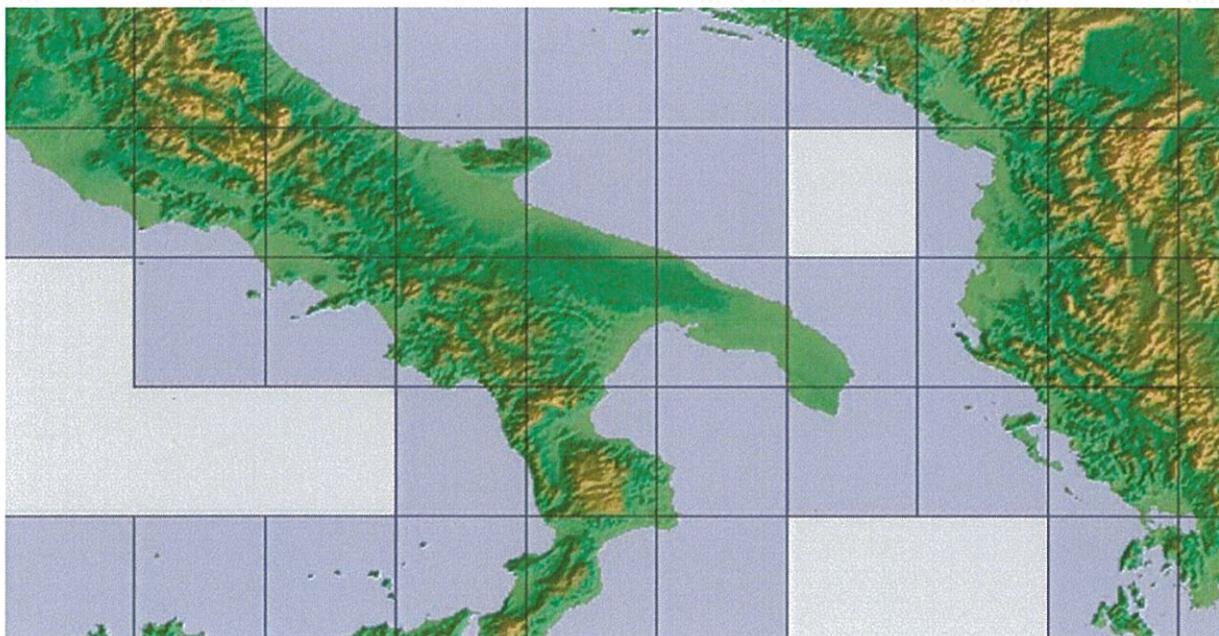


Figura 4 – DEM della Nasa

- il DTM (Digital Terrain Model) disponibile sul sito del Servizio Informativo Territoriale della Regione Puglia. Il DTM così realizzato è distribuito in formato ASCII RASTER e si presenta come un grigliato regolare, con passo di griglia di 8 metri. Il Sistema di riferimento è UTM-WGS84, fuso 33. Il DTM presenta l'accuratezza in quota pari ad 1 m (l'accuratezza altimetrica è relativa a zone di terreno scoperto, prive di vegetazione e quanto altro impedisca una chiara collimazione per la valutazione della quota), tranne che nelle zone con vegetazione fitta (copertura >70%) o ad alto fusto, in cui l'accuratezza decresce di un ulteriore valore pari a 1/4 dell'altezza media degli alberi.

RELAZIONE IDROLOGICA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
IA0X	02 D 11	RI	ID0001	001	A	23 di 54

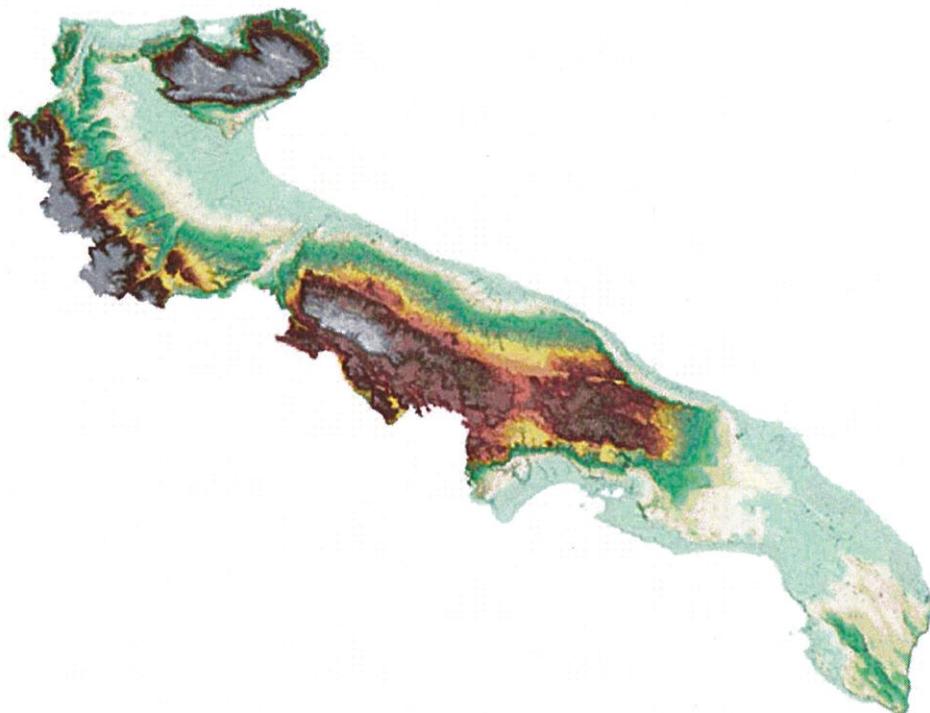


Figura 5 - DTM della Regione Puglia.

Grazie a queste informazioni sono stati costruiti i DTM (Digital Terrain Map) di diverso dettaglio, che hanno consentito la ricostruzione della rete idrografica, del bacino dei corsi d'acqua maggiori (Cervaro, Carapelle ed Ofanto) e dei bacini di tutti gli altri attraversamenti.

In particolare, per identificare la rete idrografica dell'area di studio, è stato utilizzato il programma MapWindow, software sviluppato dall'Idaho State University e dalla Utah State University, integrato con il plug-in TauDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models). Questo applicativo consente il riconoscimento della rete idrografica sfruttando semplicemente il DTM dell'area di interesse, che deve essere fornito come griglia di quadrati di dimensioni identiche (pixel) ad ognuno dei quali va associata la quota geodetica media della porzione di territorio sottesa dal quadrato stesso.

6.1 L'individuazione degli attraversamenti idraulici lungo le tratte ferroviarie Cervaro - Rocchetta Scalo e Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi

Nelle Tabella 1 e 2 è riportato l'elenco degli attraversamenti idraulici lungo la tratta Cervaro – Rocchetta Scalo oggetto di intervento.

Tratta Cervaro - Rocchetta Scalo	
Attraversamento	Progressiva
Opera minore	12+595
Ponticello	24+063
Opera minore su Fosso La Marana	36+253
Opera minore	39+503
Opera minore	40+848
Opera minore	41+829
Opera minore	42+169
Opera minore	42+443
Opera minore	43+117
Opera minore	45+776
Opera minore	45+851
Opera minore	45+895
Ponticello	45+951
Opera minore	47+590

Tabella 1 – Elenco degli attraversamenti lungo la linea ferroviaria storica Cervaro - Rocchetta Scalo per i quali è prevista la demolizione e il rifacimento per motivi di criticità strutturale

Tratta Cervaro - Rocchetta Scalo		
Attraversamento	Progressiva linea storica	Progressiva variante tracciato
Ponticello	43+805	0+392
Ponticello	44+017	0+593
Opera minore	44+515	1+025
Tombino	44+736	1+225
Opera minore	44+837	1+325
Ponticello	44+893	1+381
Ponticello	45+139	1+634

Tabella 2 – Elenco degli attraversamenti idraulici di nuova realizzazione lungo la linea ferroviaria in variante.

RELAZIONE IDROLOGICA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
IA0X	02 D 11	RI	ID0001	001	A	25 di 54

Nella Tabella 3 è riportato l'elenco degli attraversamenti idraulici lungo la tratta Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi oggetto di intervento.

Tratta Rocchetta Scalo - San Nicola di Melfi	
Attraversamento	Progressiva
Opera minore	1+831
Opera minore	3+052

Tabella 3 – Elenco degli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la linea ferroviaria Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi.

In Tabella 4 sono elencati gli attraversamenti di progetto da realizzarsi lungo le viabilità di ricuitura.

Attraversamenti viabilità di ricuitura – Lotto 2	
progressiva	viabilità
23+208	Stradina di ricuitura da pk 21+878 a pk 24+550
24+063	Stradina di ricuitura da pk 21+878 a pk 24+550
24+290	Stradina di ricuitura da pk 21+878 a pk 24+550
39+111	Stradina di ricuitura da pk 38+970 a pk 39+550
39+157	Stradina di ricuitura da pk 38+970 a pk 39+550
39+239	Stradina di ricuitura da pk 38+970 a pk 39+550
39+281	Stradina di ricuitura da pk 38+970 a pk 39+550
39+462	Stradina di ricuitura da pk 38+970 a pk 39+550
39+503	Stradina di ricuitura da pk 38+970 a pk 39+550
NV05	Deviazione SP99

Tabella 4 – Elenco degli attraversamenti di nuova realizzazione lungo le viabilità di ricuitura alla viabilità esistente.

RELAZIONE IDROLOGICA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
IA0X	02 D 11	RI	ID0001	001	A	26 di 54

Nelle Tabella 6, 7, 8, 9 e 10 sono riportati gli attraversamenti idraulici oggetto di intervento e i rispettivi bacini afferenti.

Tratta Cervaro – Rocchetta Scalo	
Progressiva	A [km ²]
12+595	0.42
24+063	1.67
36+253	3.99
39+503	0.21
40+848	0.02
41+829	0.03
42+169	0.02
42+443	0.03
43+117	0.01
45+776	0.08
45+851	0.03
45+895	0.04
45+951	0.54
47+590	0.04

Tabella 5 – Elenco dei bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento sulla linea ferroviaria Cervaro – Rocchetta Scalo.

Tratta Cervaro – Rocchetta Scalo		
Progressiva linea storica	Progressiva variante tracciato	A [km ²]
43+805	0+392	0.48
44+017	0+593	0.16
44+515	1+025	0.15
44+736	1+225	0.04
44+837	1+325	0.02
44+893	1+381	1.12
45+139	1+634	0.37

Tabella 6 – Elenco dei bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la linea ferroviaria in variante

RELAZIONE IDROLOGICA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
IA0X	02 D 11	RI	ID0001	001	A	27 di 54

Tratta Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi	
Progr.	A [km ²]
1+831	0.04
3+052	0.17

Tabella 7 – Elenco dei bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la linea ferroviaria Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi.

Attraversamenti viabilità di ricucitura	
progressiva	A [km2]
23+208	0.64
24+063	1.67
24+290	0.83
39+111	0.12
39+157	0.05
39+239	0.86
39+281	0.02
39+462	0.01
39+503	0.21
NV05	0.20

Tabella 8 – Elenco dei bacini afferenti agli attraversamenti di nuova realizzazione lungo le viabilità di ricucitura alla viabilità esistente

Per l'identificazione dei bacini idrografici, con indicazione dei relativi attraversamenti, si rimanda agli specifici elaborati (IA0X02D11C3ID0001001A, IA0X02D11C3ID0001002A). Per le viabilità di ricucitura i bacini sono riportati nell'allegato alla presente relazione.

7 MODELLI PROBABILISTICI PER L'ANALISI STATISTICA DELLE PIOGGE E DELLE PORTATE

7.1 Il modello probabilistico TCEV

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

La funzione di probabilità cumulata del modello TCEV può essere espressa nella forma:

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

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

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

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

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

caratterizzata dalla funzione di probabilità cumulata:

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

nella quale risulta:

$$\Theta_* = \frac{\Theta_2}{\Theta_1} \quad \text{e} \quad \Lambda_* = \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1^{1/\Theta_*}}$$

L'espressione completa della funzione di probabilità cumulata della TCEV può essere ulteriormente semplificata facendo riferimento alla variabile adimensionale $K_{t,Tr} = X_{t,Tr} / \mu(X_t)$ dove con $\mu(X_t)$ si è indicato il *valore indice* (la media della variabile). La funzione di probabilità cumulata di questa nuova variabile $K_{t,Tr}$ è la cosiddetta *curva di crescita* la quale dipende dai parametri Λ_* , Θ_* , Λ_1 e Θ_1 , l'ultimo dei quali è rappresentabile analiticamente in funzione della media.

Tale curva risulta avere validità nell'ambito di sottozone omogenee, per cui rappresenta uno strumento di uso particolarmente comodo. Infatti, nell'ambito delle suddette sottozone, è sufficiente determinare la media della variabile ($\mu(X_t)$) per avere, a partire dalla $K_{t,Tr}$, la distribuzione di probabilità finale.

$$F_X(x) = \mu(X_t) K_{t,Tr}$$

7.2 Approccio gerarchico alla stima regionale dei parametri

Sulle relazioni che intercorrono tra momenti teorici e parametri della distribuzione TCEV si basa la strutturazione regionale della stima dei parametri del modello TCEV, in particolare con riferimento ai momenti del secondo e del terzo ordine.

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

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

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

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

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

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

I° Livello di regionalizzazione:

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

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

II° Livello di regionalizzazione

Al secondo livello di regionalizzazione si assume che la regione omogenea rispetto a Λ e Θ possa suddividersi in sottozona in cui il coefficiente di variazione C_V risulti costante, nel senso

RELAZIONE IDROLOGICA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
IA0X	02 D 11	RI	ID0001	001	A	31 di 54

che vari con piccoli scarti di disturbo spaziale intorno a valori medi differenti da una zona all'altra.

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

Se si individua una sottozona omogenea rispetto a Λ_1 la variabile $K_{t,T} = X_{t,T} / \mu(X_t)$ risulta identicamente distribuita, si ha cioè una curva di crescita unica per l'intera sottozona.

III° Livello di regionalizzazione

Il terzo livello di regionalizzazione consiste nell'individuazione di aree omogenee nelle quali sia possibile determinare le relazioni che legano la media $\mu(X_t)$ (valore indice) alle caratteristiche fisiche di interesse.

Nel seguito si fa riferimento al valore indice della precipitazione $\mu(X_t)$ in quanto l'ipotesi di aree con caratteristiche morfologiche (es. quota) e climatiche tali da poter definire un valore indice $\mu(X_t)$ costante è applicabile solo per le piogge e spesso non è verificata.

7.3 Curve regionali di crescita delle precipitazioni

Nell'analisi delle piogge orarie per ogni sito è possibile legare il valore medio $\mu(X_t)$ dei massimi annuali della precipitazione media di diversa durata t alle durate stesse, attraverso la curva di probabilità pluviometrica:

$$\mu(X_t) = a t^n$$

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

$$h_{t,T} = \mu(X_t) K_T$$

	CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO LINEA FOGGIA-POTENZA – AMMODERNAMENTO SOTTOPROGETTO 2 – Studio idrologico-idraulico e analisi del rischio delle opere di attraversamento						
	RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO IAOX	LOTTO 02 D 11	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0001	PROGR. 001	REV. A

8 ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI CON IL METODO VAPI

In questo capitolo si illustreranno i risultati del Progetto VAPI per la stima delle precipitazioni di assegnato tempo di ritorno per il territorio di interesse in questo studio. Questa sintesi è stata articolata con riferimento a indagini effettuate nella modellazione dei dati pluviometrici ed idrometrici della regione, contenute nel Rapporto Regionale pubblicato, *Valutazione delle Piene in Puglia* [Copertino e Fiorentino, 1994], a cui si rimanda per ogni ulteriore approfondimento.

I risultati dello studio citato hanno evidenziato per la regione Puglia la consistenza di due zone di primo e secondo livello. L'intero territorio di competenza del compartimento di Bari del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale risulta quindi diviso, al primo e secondo livello, in una sottozona settentrionale della regione ed in un'altra centromeridionale. La prima comprende la Capitanata, il Sub-appennino Dauno (dove è posizionata la nostra area di studio), il Gargano e l'Alta Murgia, la seconda include la restante parte del Tavoliere e della Murgia e la Penisola Salentina. L'analisi di terzo livello basata sull'analisi di regressione delle precipitazioni di diversa durata con la quota ha portato alla individuazione di quattro sottozone nella parte settentrionale e due nella parte meridionale ciascuna con le curve di possibilità climatica.

I dati pluviometrici utilizzati nell'*Analisi* sono quelli pubblicati sugli annali idrologici del Compartimento di Bari del S.I.M.I.: le osservazioni pluviometriche interessano il periodo dal 1932 al 1994 in tutte le stazioni di studio, con almeno quindici anni di misure, dei massimi annuali delle precipitazioni giornaliere ed orarie.

1° e 2° Livello di regionalizzazione

Nell'*Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia* condotta sulle piogge giornaliere, è stata accolta l'ipotesi secondo la quale le stazioni appartengano ad una zona unica, al primo livello nella zona settentrionale, entro la quale si possano ritenere costanti i valori teorici dei parametri Λ , e Θ .

Anche nella procedura operata al secondo livello di regionalizzazione, la verifica dell'ipotesi di unica zona omogenea ha condotto ad un risultato positivo con valore costante di Λ_1 .

Piogge	$\Theta_* = 2.352$	$\Lambda_* = 0.772$	$\Lambda_1 = 45$
--------	--------------------	---------------------	------------------

Tabella 9 - Parametri del VAPI per il I e II livello di regionalizzazione per la zona in esame ricavata dall'Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia.

L'analisi regionale dei dati di precipitazione al primo e al secondo livello di regionalizzazione ha consentito dunque, conoscendo Λ_1 , Λ_* e Θ_* , la determinazione delle curve regionali di crescita della precipitazione.

Il valore di K_T può essere calcolato in funzione di T attraverso una approssimazione asintotica della curva di crescita:

$$K_T = a + b \ln(T)$$

In cui:

$$a = (\Theta_* \ln \Lambda_* + \ln \Lambda_1) / \eta \quad b = \Theta_* / \eta \quad \eta = \ln \Lambda_1 + C - T_0$$

$$T_0 = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(-1)^i \Lambda_*^i}{i!} \Gamma\left(\frac{i}{\Theta_*}\right) \quad C = 0.5772 \text{ (costante di Eulero)}$$

Che, dati i valori assunti dai parametri della distribuzione TCEV in Puglia, diventa:

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

Nella tabella seguente sono riportati, i valori di K_T relativi ai valori del periodo di ritorno più comunemente adottati in questo studio.

T	10	20	30	50	100	200	300
K_T	1.52	1.81	1.98	2.19	2.48	2.76	2.93

Tabella 10 – Valori del fattore di crescita per la zona in esame ricavata dall'Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia.

III° Livello di regionalizzazione

Lo studio svolto nell'*Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia* ha individuato diverse aree omogenee al terzo livello di regionalizzazione, nel quale si analizza la variabilità spaziale del parametro di posizione (media, moda o mediana) delle serie storiche in relazione a fattori locali. A tal fine sono stati indagati eventuali legami esistenti tra i valori medi x_g dei massimi annuali delle piogge giornaliere e parametri geografici significativi (ad esempio la quota sul livello del mare) delle diverse località.

Lo studio ha condotto l'analisi su 85 serie caratterizzate da almeno 10 anni di osservazione ed ha individuato le aree omogenee al terzo livello proponendo che in ciascuna area x_g sia costante, oppure variabile linearmente in funzione della quota h sul livello medio mare della stazione di osservazione, con la relazione:

$$\ln(x_g) = C h + D$$

i cui parametri C e D sono determinabili attraverso regressione lineare.

Sono state individuate quattro zone pluviometriche omogenee illustrate in Figura 6.

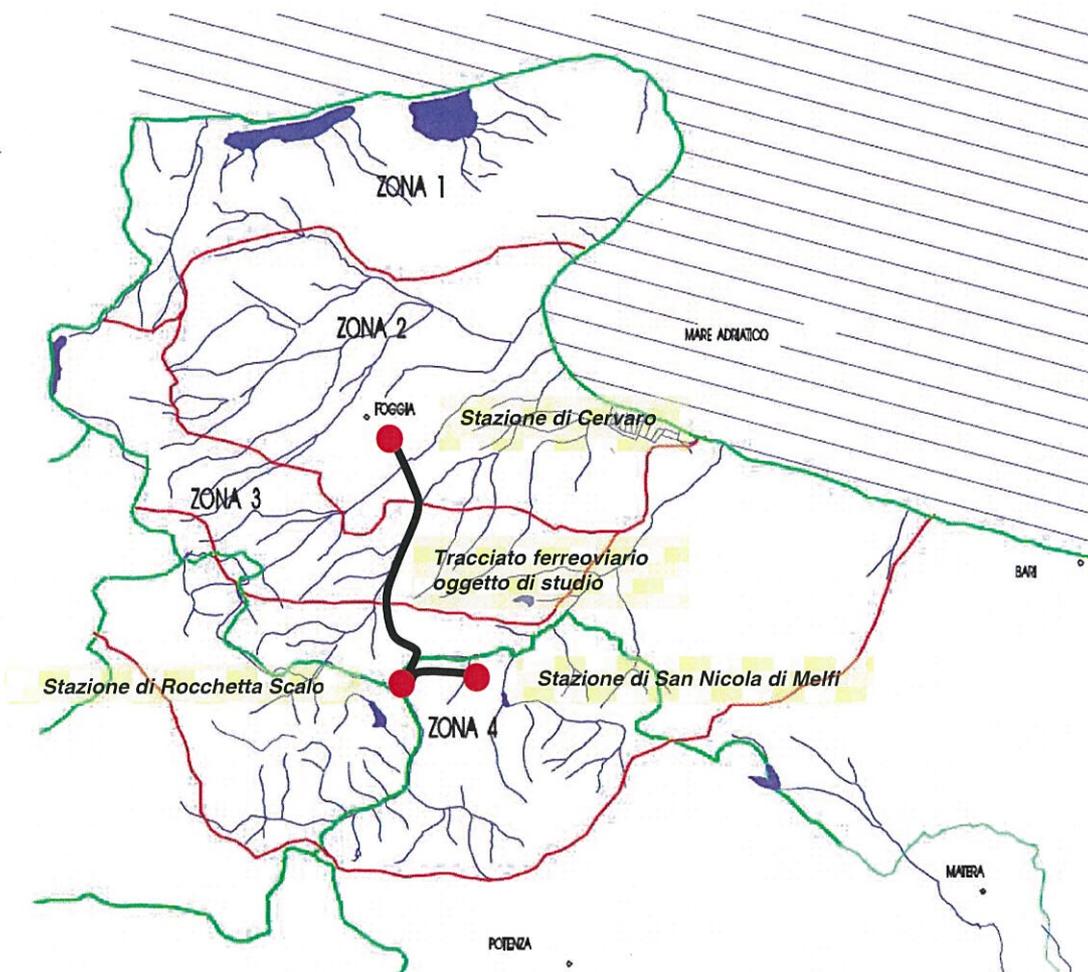


Figura 6 – Zone omogenee rispetto al valor medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere.

La relazione che lega l'altezza media di precipitazione alla durata ed alla quota del sito (h), per le aree in esame, viene generalizzata nella forma:

$$\mu(X_i) = a t^{(Ch+D+\ln \alpha - \ln a)/\ln 24}$$

in cui a è il valor medio, pesato sugli anni di funzionamento, dei valori di $\mu(X_i)$ relativi alle serie ricadenti in ciascuna zona omogenea; $\alpha = x_g/x_{24}$ è il rapporto fra le medie delle piogge giornaliere e di durata 24 ore per serie storiche di pari numerosità. Per la Puglia il valore del coefficiente α è praticamente costante sull'intera regione e pari a 0.89; C e D sono i coefficienti della regressione lineare fra il valor medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere e la quota sul livello del mare.

RELAZIONE IDROLOGICA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
IA0X	02 D 11	RI	ID0001	001	A	36 di 54

I valori dei parametri sono riportati nella Tabella seguente.

Zona	α	a	C	D	n
1	0.89	28.66	.00503	3.959	-
2	"	22.23	-	-	.247
3	"	25.325	.000531	3.811	-
4	"	24.7	-	-	.256

Tabella 11 - Parametri del VAPI per il III livello di regionalizzazione per la zona in esame ricavata dall' Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia.

All'interno delle zone 1 (Gargano) e 3 (Murge) si è riscontrata una buona dipendenza dei valori medi delle massime precipitazioni giornaliere dalle quote, non riscontrata invece nelle restanti due zone 2 (Tavoliere) e 4 (Subappennino), nelle quali non si apprezzano sensibili variazioni tra i diversi siti di osservazione, pur variando notevolmente la quota.

Nel seguito di questo studio, grazie ai risultati illustrati, si sono determinate le altezze di precipitazioni di riferimento per ogni bacino idrografico di ogni attraversamento idraulico lungo la tratta ferroviaria oggetto del presente studio, grazie all'individuazione della zona omogenea in cui ricade il bacino e alla determinazione di un'altitudine media rappresentativa dell'area scolante stessa.

9 DEFINIZIONE DELLE PORTATE

9.1 Il metodo cinematico

Una volta delimitati i bacini e la rete idrografica delle interferenze lungo la linea ferroviaria e definito il metodo per individuare le precipitazioni di riferimento, si intende calcolare le portate in corrispondenza a tale intersezioni utilizzando il metodo razionale o del ritardo di corrivazione.

Il metodo razionale permette il calcolo della portata conseguente ad un'assegnata precipitazione: in particolare si assume come valido il concetto di isofrequenza tra l'evento meteorico e il colmo di piena derivato; generalmente utilizzato per bacini di limitata estensione, è stato applicato anche a casi di notevoli comprensori di bonifica.

Il metodo si basa sulle seguenti ipotesi:

- 1) la formazione della piena si basa unicamente su un fenomeno di trasferimento di massa liquida;
- 2) ogni singola goccia di pioggia si muove sulla superficie del bacino seguendo un percorso immutabile che dipende soltanto dalla posizione del punto in cui è caduta;
- 3) la velocità di ogni singola goccia non è influenzata dalla presenza delle altre gocce, cioè ognuna di esse è indipendente dalle altre;
- 4) la portata defluente si ottiene sommando tra loro le portate elementari provenienti dalle singole aree del bacino che si presentano allo stesso istante nella sezione di chiusura;
- 5) la precipitazione si suppone di intensità costante per tutta la durata dell'evento.

Dalle ipotesi (1) e (2), sopra formulate, il tempo impiegato da ciascuna goccia di pioggia per raggiungere la sezione di chiusura del bacino, definito come tempo di corrivazione puntuale, risulta essere necessariamente univoco per ogni punto del bacino stesso; il tempo di corrivazione massimo viene a coincidere con il tempo di corrivazione del bacino.

Nella Figura 7 è riportato uno schema del funzionamento del modello cinematico con tre precipitazioni di diversa durata (minore, uguale e maggiore rispetto al tempo di corrivazione).

Si noti come per un tempo di pioggia pari a quella di corrivazione l'idrogramma di piena assuma la forma triangolare.

RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
		IA0X	02 D 11	RI	ID0001	001	A

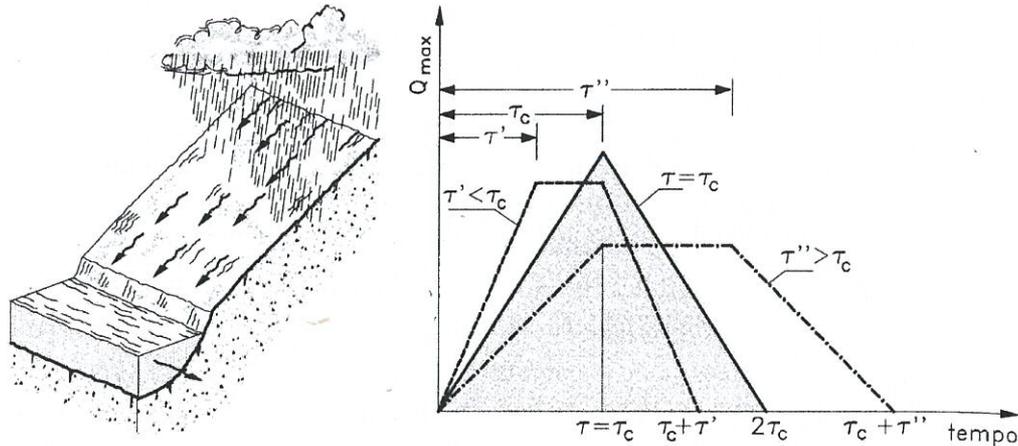


Figura 7 – Metodo cinematico: schema del bacino e idrogramma di piena per differenti durate di precipitazione.

La definizione della portata di piena avviene tramite la formula:

$$Q = \frac{1000}{3600} \cdot \frac{\phi \cdot A \cdot h(\tau, T)}{\tau}$$

dove

- ϕ = coefficiente adimensionale di deflusso (o di riduzione);
- A = superficie del bacino [km²];
- $h(\tau, T)$ = altezza di pioggia netta di durata e tempo di ritorno prefissati [mm];
- τ = tempo di corrivazione del bacino [ore].

Utilizzando, per il calcolo dell'altezza di pioggia, un tempo di pioggia pari al tempo di corrivazione, si ottengono le portate maggiormente critiche in quanto sono tali da mettere tutto il bacino in condizione di contribuire al deflusso attraverso la sezione considerata ed allo stesso tempo sono quelle più intense in quanto di ridotta durata.

Il tempo di corrivazione, parametro chiave quando si fa riferimento a metodi analitici di tipo semplificato, è definito come il tempo impiegato dalla particella d'acqua idraulicamente più lontana a percorrere l'intero bacino fino alla sezione di chiusura.

Una relazione frequentemente utilizzata per tale calcolo è la formula di **Giandotti** (1934) che tiene conto della morfologia del bacino ed è valida per superfici variabili fra 170 e 70'000 km²:

$$\tau_c = \frac{(4 \cdot \sqrt{S} + 1.5 \cdot L)}{0.8 \cdot \sqrt{(H_m - H_0)}}$$

con:

A = area del bacino sottesa alla sezione di calcolo [km²];

L = lunghezza dell'asta principale del corso d'acqua principale [km];

H_m = quota media del bacino [m s.m.m.];

H_0 = quota della sezione di chiusura [m s.m.m.].

La formula di Giandotti ha il pregio, rispetto ad altre relazioni, di comprendere nei parametri utilizzati per il calcolo del tempo di corrivazione diverse caratteristiche dei bacini analizzati. Questo garantisce una ricostruzione dei tempi di corrivazione basata sui principali parametri dei bacini.

Un'altra equazione spesso utilizzata per la stima del tempo di corrivazione è quella di **Ventura** (1905). La formula ha la seguente espressione:

$$\tau_c = 0,1272 \cdot \sqrt{\frac{A}{i_m}}$$

dove i_m è la pendenza media della rete di drenaggio.

Un'ulteriore formulazione già ampiamente sperimentata in casi analoghi è quella di **Pasini** che ha la seguente forma:

$$\tau_c = 0,108 \cdot \frac{\sqrt[3]{L \cdot A}}{\sqrt{i_m}}$$

Si è utilizzata anche la formula di **Pezzoli**, sviluppata sui dati di piccoli bacini montani di dimensioni inferiori ai 20 km²:

RELAZIONE IDROLOGICA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
IA0X	02 D 11	RI	ID0001	001	A	40 di 54

$$\tau_c = 0,055 \cdot \frac{L}{\sqrt{i_m}}$$

Si è utilizzata anche la formula di **Kerby**, utilizzata frequentemente per il calcolo del tempo di corrivazione in bacini di estensione limitata. La formula di Kerby è stata sviluppata da risultati ottenuti da bacini con canalizzazioni inferiori ai 1200 ft (365 m). La relazione di Kerby per il calcolo del tempo di corrivazione, espresso in ore, ha la forma:

$$\tau_c = \left(0,342 \cdot N \cdot L \cdot i_m^{-0,5}\right)^{0,467}$$

Con N = parametro legato al tipo di superficie (Tabella 14). In questa sede si è scelto un parametro pari a 0.3, valore intermedio alle classi di riferimento per le aree coltivate e quelle adibite al pascolo e quindi rappresentativo degli usi del suolo prevalenti nel territorio di studio.

Description	N
Pavement	0.02
Smooth, bare packed soil	0.10
Poor grass, cultivated row crops or moderately rough bare surfaces	0.20
Pasture, average grass	0.40
Deciduous forest	0.60
Dense grass, coniferous forest, or deciduous forest with deep litter	0.80

Tabella 12 - Parametro N della formula di Kerby per il calcolo del tempo di corrivazione

Infine si è presa in considerazione anche la formula di **Puglisi**, ottenuta analizzando bacini di dimensione compresa tra 43 e 94 km²:

$$\tau_c = 6 \cdot L^{2/3} \cdot (H_{\max} - H_0)^{-1/3}$$

9.2 Portate in corrispondenza degli attraversamenti idraulici delle tratte Cervaro – Rocchetta Scalo e Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi

Come già anticipato nei paragrafi precedenti, si intende determinare le portate di progetto per ogni interferenza con la linea ferroviaria utilizzando la suddivisione del territorio in zone pluviometriche omogenee del progetto VAPI. Infatti, individuati i bacini di pertinenza degli attraversamenti li si è ripartiti tra le zone, come illustrato in Figura 8. Ottenuta in questo modo una suddivisione dei bacini tra le zone pluviometriche omogenee, è stato poi sviluppato il modello cinematico per la stima delle portate di progetto da utilizzare per la verifica dei manufatti idraulici.

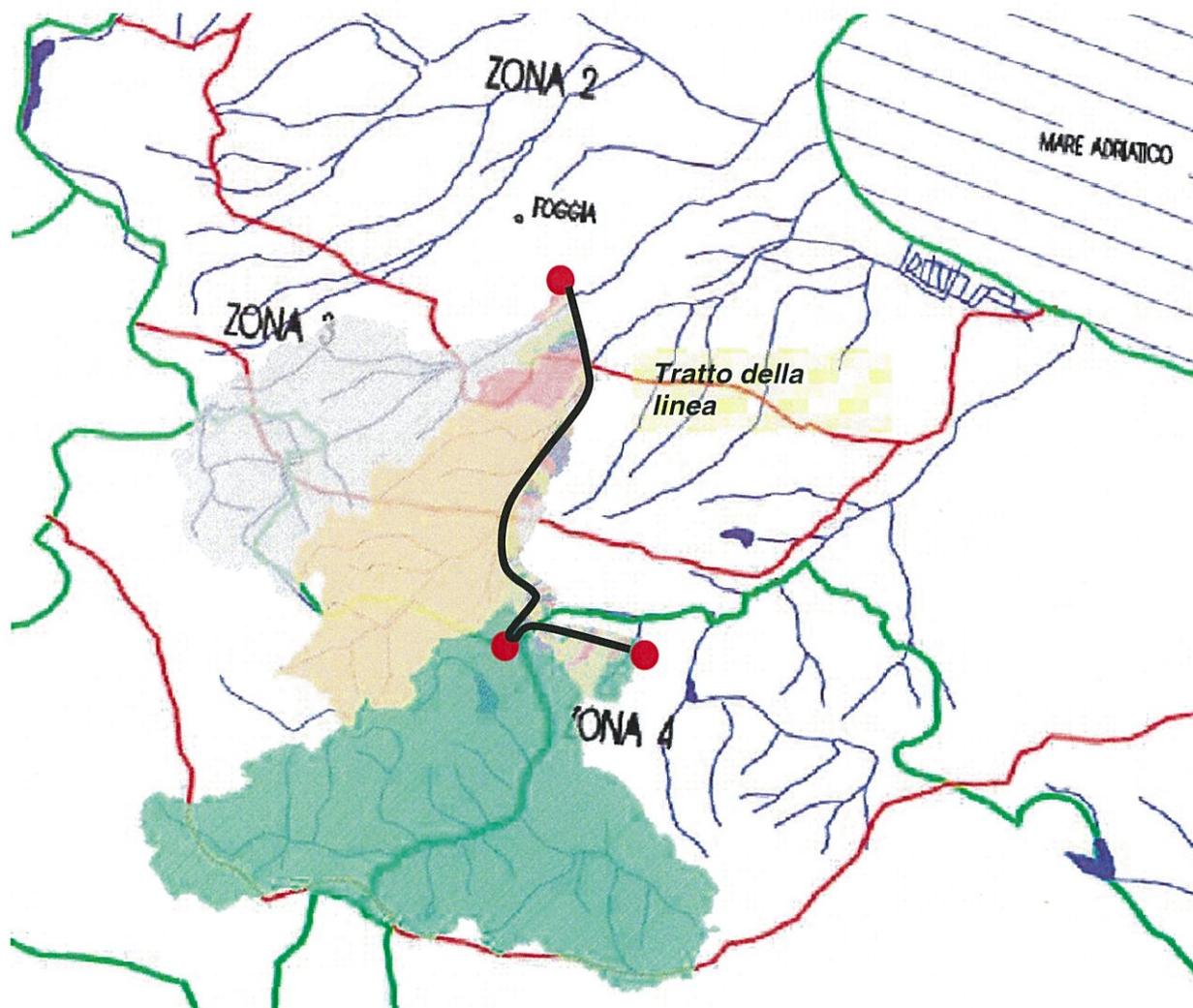


Figura 8 – Ripartizione dei bacini degli attraversamenti tra le zone pluviometriche omogenee (VAPI).

Per parte degli attraversamenti oggetto di intervento è stato possibile stimare le caratteristiche

RELAZIONE IDROLOGICA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
IA0X	02 D 11	RI	ID0001	001	A	42 di 54

geomorfologiche utili per il calcolo dei tempi di corrivazione e, quindi, delle portate di progetto. Nelle tabelle 15, 16, 17, 18, 19 si riportano le caratteristiche dei bacino afferenti ai suddetti attraversamenti.

Per altri attraversamenti idraulici, invece, non è stato possibile stimare le caratteristiche geomorfologiche utili per il calcolo dei tempi di corrivazione dei bacini afferenti; questi sono stati quindi considerati come compluvi minori ovvero come parte sommitale di un bacino idrografico che si chiuderebbe a valle della linea ferroviaria. Le portate di progetto degli attraversamenti idraulici a cui corrispondono compluvi minori sono state determinate grazie alla stima di una relazione tra la portata al colmo Q e la superficie scolante S per bacini geomorfologicamente, geologicamente e pluviometricamente simili.

Tratta Cervaro - Rocchetta Scalo							
Progr.	Area [km ²]	ZONA PLUVIO	L [km]	H _{top} [m s.m.m.]	H ₀ [m s.m.m.]	H _{medio} [m s.m.m.]	i _m
12+595	0.42	Zona 2	1.33	90.0	85.0	87.5	0.004
24+063	1.67	Zona 3	2.35	239.0	143.5	191.3	0.041
36+253	3.99	Zona 4	2.07	325.6	252.0	288.8	0.036
39+503	0.21	Zona 4	0.79	309.0	270.0	289.5	0.049
45+776	0.08	Zona 4	0.32	281.0	233.5	257.3	0.039
45+851	0.03	Zona 4	0.24	375.0	233.5	304.3	0.031
45+951	0.54	Zona 4	1.60	355.0	233.5	294.3	0.032
47+590	0.04	Zona 4	0.18	300.0	225.0	262.5	0.155

Tabella 13 - Elenco delle caratteristiche geomorfologiche dei bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la tratta Cervaro - Rocchetta Scalo.

Tratta Cervaro - Rocchetta Scalo							
Progr.	Area [km ²]	ZONA PLUVIO	L [km]	H _{top} [m s.m.m.]	H ₀ [m s.m.m.]	H _{medio} [m s.m.m.]	i _m
0+392 (LS: 43+805)	0.48	Zona 4	1.31	283.0	238.0	260.5	0.034
0+593 (LS: 44+017)	0.16	Zona 4	0.41	264.0	238.0	251.0	0.042
1+025 (LS: 44+515)	0.15	Zona 4	0.85	264.0	238.0	251.0	0.014
1+381 (LS: 44+893)	1.12	Zona 4	2.10	358.0	230.0	294.0	0.033
1+634 (LS: 45+139)	0.37	Zona 4	0.98	283.0	233.5	258.3	0.050

Tabella 14 - Elenco delle caratteristiche geomorfologiche dei bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la linea ferroviaria in variante

RELAZIONE IDROLOGICA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
IA0X	02 D 11	RI	ID0001	001	A	43 di 54

Tratta Rocchetta Scalo - San Nicola di Melfi							
Progr.	Area [km ²]	ZONA PLUVIO	L [km]	H _{top} [m s.m.m.]	H ₀ [m s.m.m.]	H _{medio} [m s.m.m.]	i _m
3+052	0.17	Zona 4	0.49	312.0	218.0	265.0	0.109

Tabella 15 - Elenco delle caratteristiche geomorfologiche dei bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la tratta Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi.

Attraversamenti viabilità di ricucitura							
Progr.	Area [km ²]	ZONA PLUVIO	L [km]	H _{top} [m s.m.m.]	H ₀ [m s.m.m.]	H _{medio} [m s.m.m.]	i _m
23+208	0.64	Zona 3	0.90	196.0	140.0	168.0	0.044
24+063	1.67	Zona 3	2.35	239.0	143.5	191.3	0.041
24+290	0.83	Zona 3	1.20	228.0	145.0	186.5	0.046
39+111	0.12	Zona 4	0.81	315.0	270.0	292.5	0.037
39+157	0.05	Zona 4	0.44	295.0	270.0	282.5	0.034
39+239	0.86	Zona 4	2.01	463.0	270.0	366.5	0.065
39+503	0.21	Zona 4	0.79	309.0	270.0	289.5	0.049
NV05	0.20	Zona 3	1.14	363.0	197.0	280.0	0.086

Tabella 16 - Elenco delle caratteristiche geomorfologiche dei bacini afferenti agli attraversamenti di nuova realizzazione lungo le viabilità di ricucitura alla viabilità esistente

Tutti gli attraversamenti elencati in precedenza presentano bacini caratterizzati da una estensione inferiore a 10km²; per il calcolo del tempo di corrivazione sono state quindi sfruttate le formule di Ventura, Pasini, Pezzoli e Kerby.

La precipitazione di riferimento è stata calcolata mediante l'applicazione delle curve regionali definite nel progetto *VAPI* ipotizzando un tempo di corrivazione pari alla media dei valori ottenuti con le formule sopra elencate. Si ottiene in questo modo il valore indice della precipitazione che va moltiplicato per il fattore di crescita diverso a seconda del tempo di ritorno da assumere come riferimento (200 o 300 anni a seconda dell'estensione del bacino analizzato).

Dall'analisi della destinazione d'uso delle aree afferenti agli attraversamenti sono stati associati dei coefficienti di deflusso diversi a seconda delle caratteristiche del bacino:

- $\phi = 0.30$ per bacini aventi una conformazione molto allungata e pendenza inferiore all'1%;

RELAZIONE IDROLOGICA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
IA0X	02 D 11	RI	ID0001	001	A	44 di 54

- $\phi = 0.40$ per bacini di estensione superiore ai 10 km²;
- $\phi = 0.45$ per bacini di estensione compresa tra 2 km² e 10 km²;
- $\phi = 0.50$ per bacini molto piccoli (superficie inferiore ai 2 km²) e pendenza superiore all'1%.

Tali coefficienti appaiono cautelativi, se si considera che le tratte ferroviarie oggetto d'interesse attraversano territori prevalentemente destinati alla coltivazione che non presentano, in generale una rete di colo naturale ben definita. Soprattutto per i bacini minori non si identificano delle incisioni marcate sul territorio.

I risultati del calcolo dei tempi di corrivazione e della precipitazione corrispondente, ricavata con la metodologia VAPI, sono riportati nelle tabelle da 20 a 29.

Tratta Cervaro - Rocchetta Scalo									
Progr.	Area [km ²]	t _c Giandotti [ore]	t _c Pasini [ore]	t _c Pezzoli [ore]	t _c Ventura [ore]	t _c Kerby [ore]	t _c Puglisi [ore]	t _c medio [ore]	C
12+595	0.42	-	1.41	1.16	1.30	1.43	-	1.32	0.50
24+063	1.67	-	0.84	0.64	0.81	1.08	-	0.84	0.50
36+253	3.99	-	1.15	0.60	1.34	1.05	-	1.04	0.45
39+503	0.21	-	0.27	0.20	0.26	0.63	-	0.34	0.50
45+776	0.08	-	0.16	0.09	0.18	0.43	-	0.22	0.50
45+851	0.03	-	0.12	0.07	0.13	0.40	-	0.18	0.50
45+951	0.54	-	0.58	0.49	0.52	0.96	-	0.64	0.50
47+590	0.04	-	0.05	0.03	0.06	0.24	-	0.10	0.50

Tabella 17 - Elenco dei tempi di corrivazione relativi ai bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la tratta Cervaro - Rocchetta Scalo.

Tratta Cervaro - Rocchetta Scalo									
Progr.	Area [km ²]	t _c Giandotti [ore]	t _c Pasini [ore]	t _c Pezzoli [ore]	t _c Ventura [ore]	t _c Kerby [ore]	t _c Puglisi [ore]	t _c medio [ore]	C
0+392 (LS: 43+805)	0.48	-	0.50	0.39	0.48	0.86	-	0.56	0.50
0+593 (LS: 44+017)	0.16	-	0.21	0.11	0.25	0.48	-	0.26	0.50
1+025 (LS: 44+515)	0.15	-	0.46	0.40	0.42	0.87	-	0.53	0.50
1+381 (LS: 44+893)	1.12	-	0.79	0.64	0.74	1.08	-	0.81	0.50
1+634 (LS: 45+139)	0.37	-	0.34	0.24	0.35	0.69	-	0.4	0.50

Tabella 18 - Elenco dei tempi di corrivazione relativi ai bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la linea ferroviaria in variante

RELAZIONE IDROLOGICA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
IA0X	02 D 11	RI	ID0001	001	A	45 di 54

Tratta Rocchetta Scalo - San Nicola di Melfi									
Progre ssiva	Area [km ²]	tc Giandotti [ore]	tc Pasini [ore]	tc Pezzoli [ore]	tc Ventura [ore]	tc Kerby [ore]	tc Puglisi [ore]	tc medio [ore]	C
3+052	0.17	-	0.14	0.08	0.16	0.42	-	0.20	0.50

Tabella 19 - Elenco dei tempi di corrivazione relativi ai bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la tratta Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi.

Attraversamenti viabilità di ricucitura									
Progre ssiva	Area [km ²]	tc Giandotti [ore]	tc Pasini [ore]	tc Pezzoli [ore]	tc Ventura [ore]	tc Kerby [ore]	tc Puglisi [ore]	tc medio [ore]	C
23+208	0.64	-	0.43	0.24	0.49	0.68	-	0.46	0.5
24+063	1.67	-	0.84	0.64	0.81	1.08	-	0.84	0.5
24+290	0.83	-	0.5	0.31	0.54	0.77	-	0.53	0.5
39+111	0.12	-	0.26	0.23	0.23	0.68	-	0.35	0.5
39+157	0.05	-	0.16	0.13	0.15	0.52	-	0.24	0.5
39+239	0.86	-	0.51	0.43	0.46	0.91	-	0.58	0.5
39+503	0.21	-	0.27	0.20	0.26	0.63	-	0.34	0.5
NV05	0.20	-	0.23	0.21	0.19	0.65	-	0.32	0.5

Tabella 20 – Elenco dei tempi di corrivazione relativi ai bacini afferenti agli attraversamenti di nuova realizzazione lungo le viabilità di ricucitura alla viabilità esistente

Tratta Cervaro – Rocchetta Scalo					
Progr.	H [mm] Tr=10	h [mm] Tr=50	h [mm] Tr=100	h [mm] Tr=200	h [mm] Tr=300
12+595	36.2	52.2	59.1	65.8	69.8
24+063	37.4	53.8	60.9	67.8	72.0
36+253	37.9	54.6	61.8	68.8	73.0
39+503	28.4	41.0	46.4	51.7	54.8
45+776	25.4	36.6	41.4	46.1	48.9
45+861	24.2	34.8	39.5	43.9	46.6
45+951	33.5	48.2	54.6	60.8	64.5
47+590	20.6	29.7	33.6	37.4	39.7

Tabella 21 – Elenco delle precipitazioni relative ai bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la tratta Cervaro – Rocchetta Scalo.

RELAZIONE IDROLOGICA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
IA0X	02 D 11	RI	ID0001	001	A	46 di 54

Tratta Cervaro – Rocchetta Scalo					
Progr.	H [mm] Tr=10	h [mm] Tr=50	h [mm] Tr=100	h [mm] Tr=200	h [mm] Tr=300
0+392 (LS: 43+805)	32.3	46.6	52.8	58.7	62.3
0+593 (LS: 44+017)	26.6	38.4	43.5	48.4	51.4
1+025 (LS: 44+515)	32.0	46.1	52.2	58.1	61.6
1+381 (LS: 44+893)	35.6	51.3	58.1	64.6	68.6
1+634 (LS: 45+139)	29.8	42.9	48.6	54.1	57.4

Tabella 22 – Elenco delle precipitazioni relative ai bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la linea ferroviaria in variante

Tratta Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi							
Progressiva	h [mm] Tr=10	h [mm] Tr=20	h [mm] Tr=30	h [mm] Tr=50	h [mm] Tr=100	h [mm] Tr=200	h [mm] Tr=300
3+052	24.9	29.6	32.4	35.8	40.6	45.1	47.9

Tabella 23 – Elenco delle precipitazioni relative ai bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la tratta Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi.

Attraversamenti viabilità di ricucitura					
Progr.	H [mm] Tr=10	h [mm] Tr=50	h [mm] Tr=100	h [mm] Tr=200	h [mm] Tr=300
23+208	33.6	48.4	54.8	61.0	64.8
24+063	37.4	53.8	60.9	67.8	72.0
24+290	34.4	49.6	56.2	62.5	66.3
39+111	28.7	41.3	46.8	52.1	55.3
39+157	26.1	37.6	42.6	47.4	50.3
39+239	32.6	47.0	53.2	59.2	62.9
39+503	28.4	41.0	46.4	51.7	54.8
NV05	32.0	46.1	52.2	58.1	61.7

Tabella 24 – Elenco delle precipitazioni relative ai bacini afferenti agli attraversamenti idraulici di nuova realizzazione lungo le viabilità di ricucitura alla viabilità esistente

Nelle tabelle Tabelle da 30 a 34 sono elencate, le portate di riferimento per i bacini afferenti agli attraversamenti secondari oggetto di intervento lungo le tratte Cervaro – Rocchetta Scalo e Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi, lungo i tratti in variante e le viabilità di ricucitura.

RELAZIONE IDROLOGICA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
IA0X	02 D 11	RI	ID0001	001	A	47 di 54

Tratta Cervaro – Rocchetta Scalo						
Progressiva	Area [km ²]	Q [m ³ /s] Tr=10	Q [m ³ /s] Tr=50	Q [m ³ /s] Tr=100	Q [m ³ /s] Tr=200	Q [m ³ /s] Tr=300
12+595	0.42	1.60	2.30	2.60	2.90	3.07
24+063	1.67	10.26	14.79	16.75	18.64	19.79
36+253	3.99	18.24	26.28	29.76	33.12	35.16
39+503	0.21	2.45	3.53	4.00	4.45	4.73
45+776	0.08	1.30	1.88	2.13	2.37	2.51
45+851	0.03	0.56	0.81	0.92	1.02	1.08
45+951	0.54	3.94	5.67	6.42	7.15	7.59
47+590	0.04	1.20	1.72	1.95	2.17	2.31

Tabella 25 – Elenco delle portate calcolate per Tr 10, 50, 100, 200 e 300 anni relative agli attraversamenti idraulici lungo la tratta Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi.

Tratta Cervaro – Rocchetta Scalo						
Progressiva	Area [km ²]	Q [m ³ /s] Tr=10	Q [m ³ /s] Tr=50	Q [m ³ /s] Tr=100	Q [m ³ /s] Tr=200	Q [m ³ /s] Tr=300
0+392 (LS: 43+805)	0.48	3.86	5.56	6.30	7.01	7.44
0+593 (LS: 44+017)	0.16	2.26	3.26	3.69	4.10	4.36
1+025 (LS: 44+515)	0.15	1.25	1.80	2.03	2.26	2.40
1+381 (LS: 44+893)	1.12	6.82	9.82	11.12	12.37	13.14
1+634 (LS: 45+139)	0.37	3.78	5.45	6.17	6.86	7.29

Tabella 26 – Elenco delle portate calcolate per Tr 10, 50, 100, 200 e 300 anni relative agli attraversamenti idraulici lungo la linea ferroviaria in variante

RELAZIONE IDROLOGICA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
IA0X	02 D 11	RI	ID0001	001	A	48 di 54

Tratta Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi						
Progressiva	Area [km ²]	Q [m ³ /s] Tr=10	Q [m ³ /s] Tr=50	Q [m ³ /s] Tr=100	Q [m ³ /s] Tr=200	Q [m ³ /s] Tr=300
3+052	0.17	2.94	4.24	4.80	5.34	5.67

Tabella 27 – Elenco delle portate calcolate per Tr 10, 50, 100, 200 e 300 anni relative agli attraversamenti idraulici lungo la tratta Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi.

Attraversamenti viabilità di ricucitura						
Progressiva	Area [km ²]	Q [m ³ /s] Tr=10	Q [m ³ /s] Tr=50	Q [m ³ /s] Tr=100	Q [m ³ /s] Tr=200	Q [m ³ /s] Tr=300
23+208	0.64	6.53	9.40	10.65	11.85	12.58
24+063	1.67	10.26	14.79	16.75	18.64	19.79
24+290	0.83	7.48	10.77	12.20	13.58	14.41
39+111	0.12	1.37	1.97	2.24	2.49	2.64
39+157	0.05	0.75	1.08	1.22	1.36	1.44
39+239	0.86	6.75	9.72	11.01	12.25	13.00
39+503	0.21	2.45	3.53	4.00	4.45	4.73
NV05	2.88	3.43	4.15	4.70	5.23	5.36

Tabella 28 – Elenco delle portate calcolate per Tr 10, 50, 100, 200 e 300 anni relative agli attraversamenti idraulici di nuova realizzazione lungo le viabilità di ricucitura alla viabilità

Come detto, la portata di progetto degli attraversamenti idraulici a cui corrispondono dei compluvi minori è stata determinata grazie alla stima di una relazione tra la portata al colmo Q e la superficie scolante S per bacini geomorfologicamente, geologicamente e pluviometricamente simili.

Per determinare la portata nei compluvi minori si può utilizzare una formulazione monomia del tipo:

$$Q = c \cdot S^n$$

in accordo agli studi di Mele (1976), Gherardelli-Marchetti (1955), ecc. Tale formulazione mette in relazione la portata al colmo Q dalla superficie scolante S per bacini geomorfologicamente,

geologicamente e pluviometricamente simili, quali quelli analizzati nel presente studio. Tale formulazione scritta in termini logaritmici assume la forma:

$$\log Q = c + n \cdot \log S$$

che rappresenta nel piano bi-logaritmico una retta di intercetta c e coefficiente angolare n . I compluvi minori ricadono tutti nella zona pluviometrica omogenea numero 4, secondo lo studio VAPI, di conseguenza sono stati presi in considerazione solamente i bacini per cui è stata individuata una portata e ricadono nella medesima zona pluviometrica omogenea. Nei grafici seguenti sono riportati nel piano bi-logaritmico i valori di portata determinati con il metodo cinematico, per i vari tempi di ritorno, in funzione dell'area del bacino scolante.

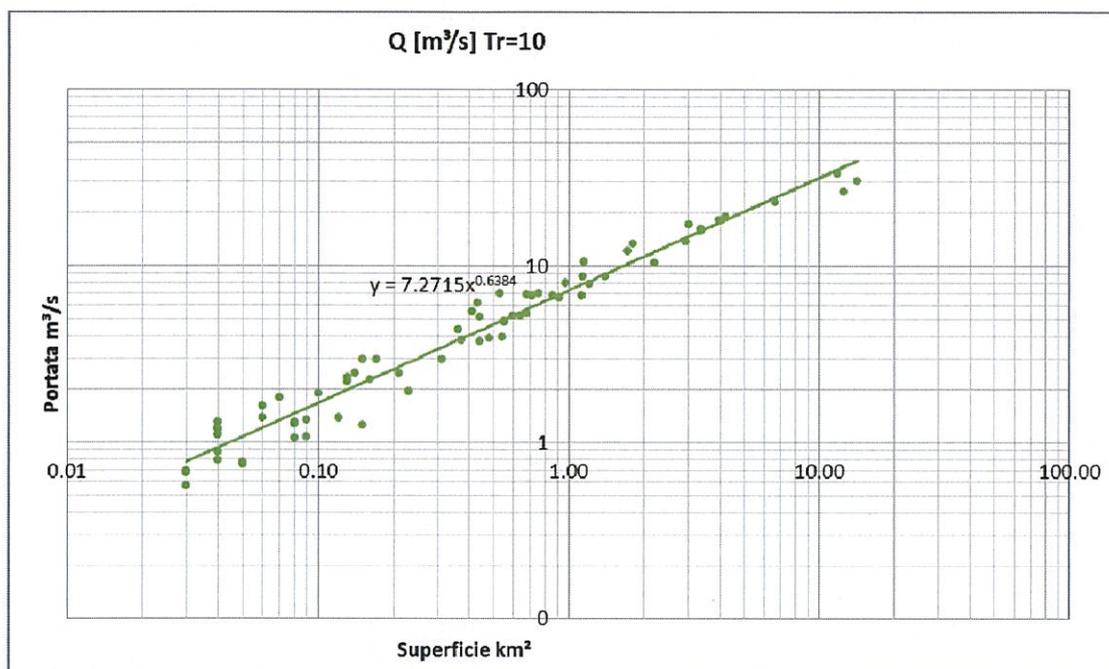


Figura 9 – Grafico $Q=cS^n$ per i risultati del modello cinematico per $Tr = 10$ anni.

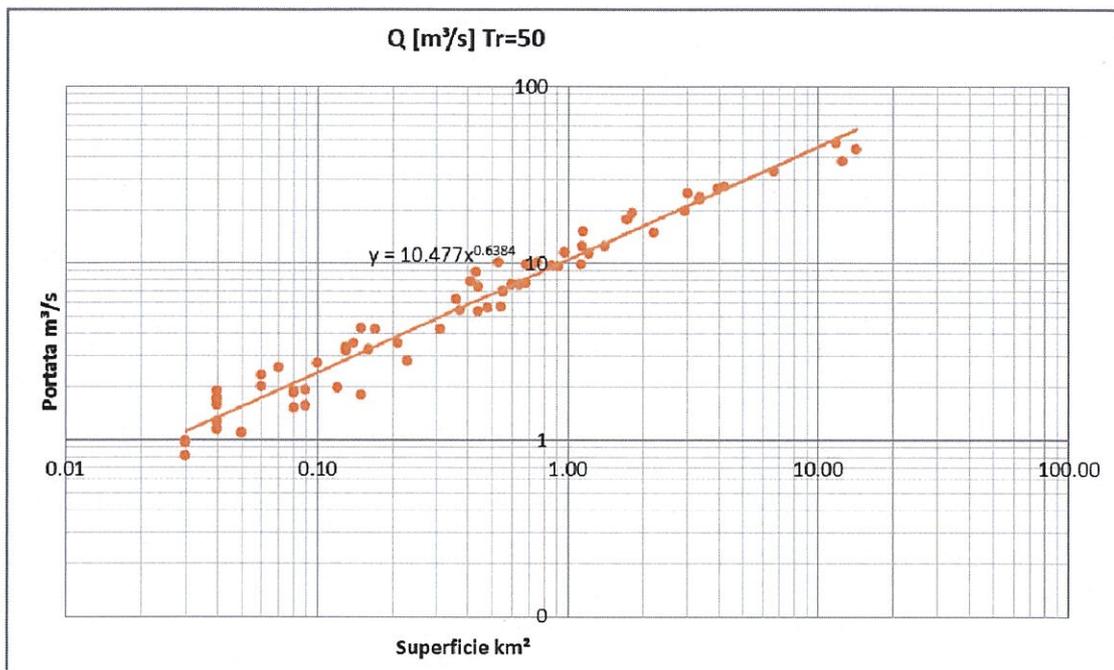


Figura 10 – Grafico $Q=cS^n$ per i risultati del modello cinematico per $Tr = 50$ anni.

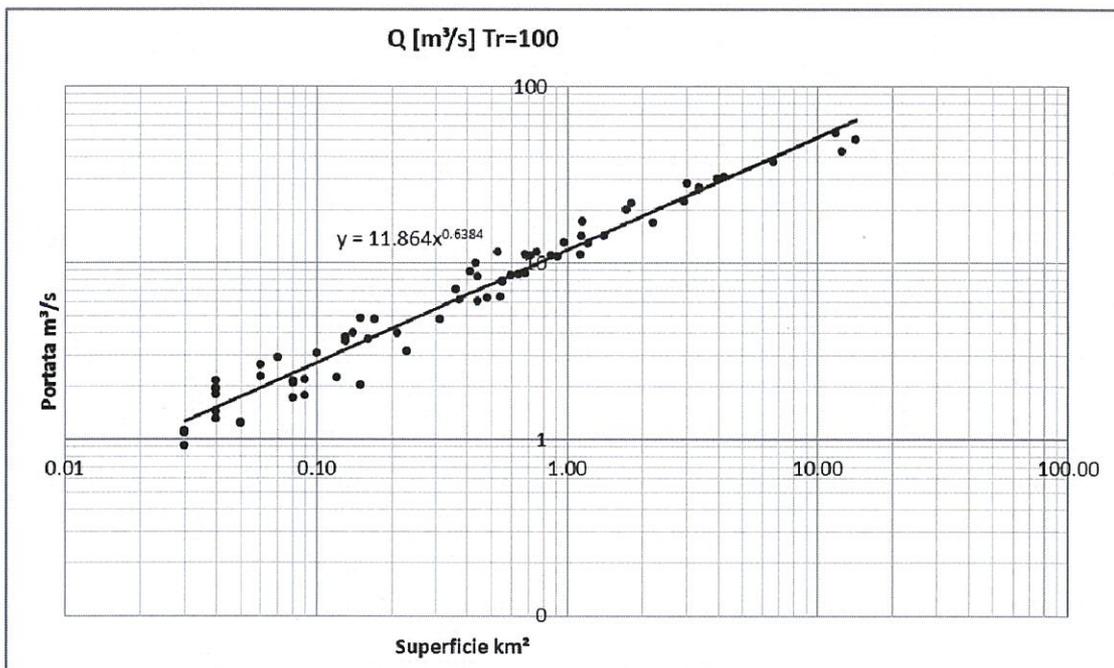


Figura 11 – Grafico $Q=cS^n$ per i risultati del modello cinematico per $Tr = 100$ anni.

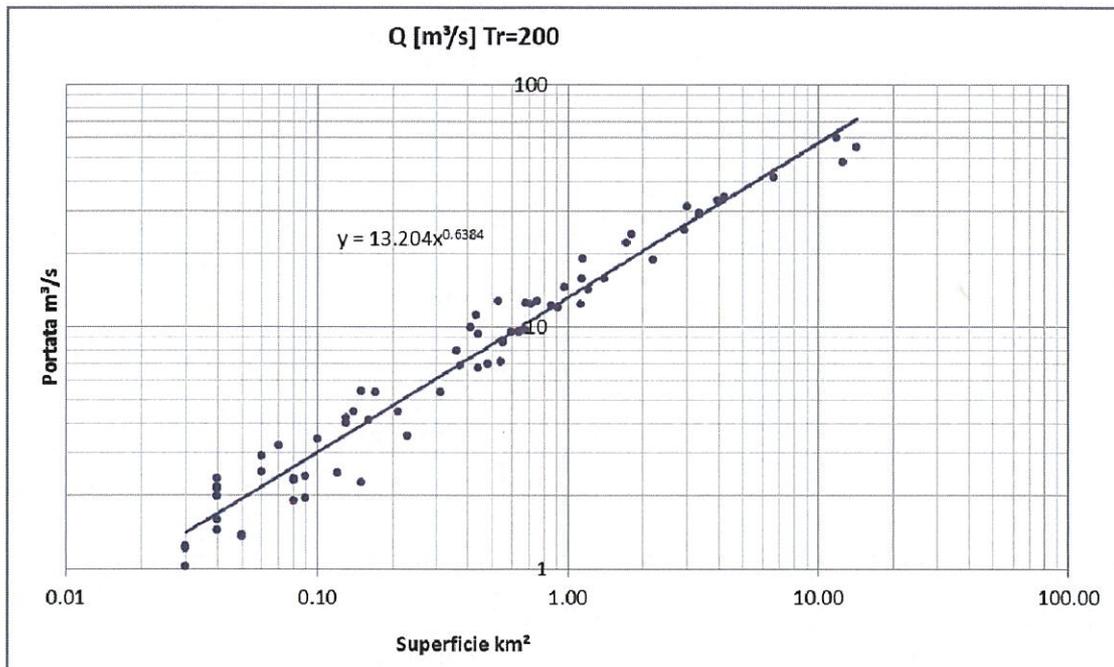


Figura 12 – Grafico $Q=cS^n$ per i risultati del modello cinematico per $Tr = 200$ anni.

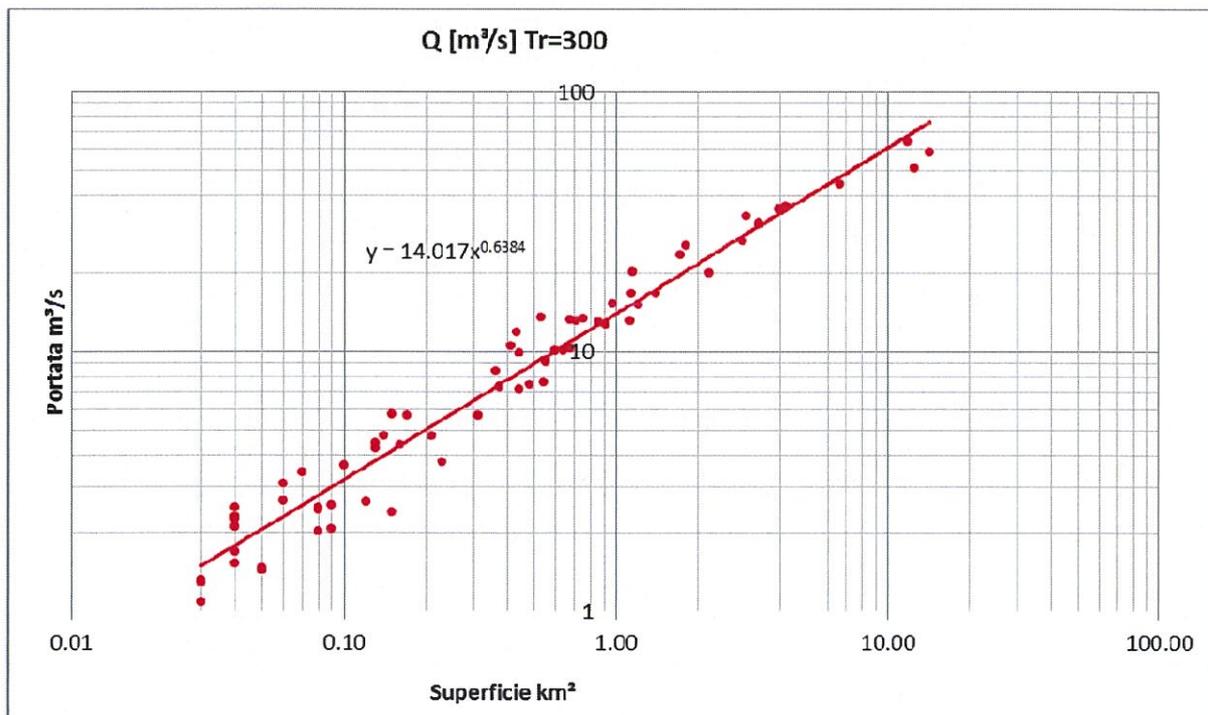


Figura 13 – Grafico $Q=cS^n$ per i risultati del modello cinematico per $Tr = 300$ anni.

RELAZIONE IDROLOGICA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
IA0X	02 D 11	RI	ID0001	001	A	52 di 54

Dai grafici si evince come i dati siano ben interpolati da cinque rette i cui coefficienti angolari sono pari a 0.6384 e un'intercetta pari a:

- 7.2715 per Tr 10 anni;
- 10.477 per Tr 50 anni;
- 11.864 per Tr 100 anni;
- 13.204 per Tr 200 anni;
- 14+017 per Tr 300 anni.

La valutazione delle portate generabili di compluvi minori, è condotta usufruendo della formulazione monomia $Q = c \cdot S^n$ sopra esposta, vista la bontà dei risultati così ottenuti.

Nelle tabelle da 35 a 38 sono elencati i risultati per i compluvi minori afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la linea Cervaro – Rocchetta Scalo e Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi, lungo i tratti in variante e le viabilità di ricucitura.

Tratta Cervaro - Rocchetta Scalo						
Progressiva	Area [km ²]	Q [m ³ /s] Tr=10	Q [m ³ /s] Tr=50	Q [m ³ /s] Tr=100	Q [m ³ /s] Tr=200	Q [m ³ /s] Tr=300
40+848	0.02	0.60	0.86	0.98	1.09	1.15
41+829	0.03	0.78	1.12	1.26	1.41	1.49
42+169	0.02	0.60	0.86	0.98	1.09	1.15
42+443	0.03	0.78	1.12	1.26	1.41	1.49
43+117	0.01	0.38	0.55	0.63	0.70	0.74
45+895	0.04	1.20	1.73	1.96	2.18	2.32

Tabella 29 – Compluvi minori: portate desunte dalla formulazione $Q=cS^n$ per gli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la linea storica Cervaro - Rocchetta Scalo.

RELAZIONE IDROLOGICA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
IA0X	02 D 11	RI	ID0001	001	A	53 di 54

Tratta Cervaro - Rocchetta Scalo						
Progressiva	Area [km ²]	Q [m ³ /s] Tr=10	Q [m ³ /s] Tr=50	Q [m ³ /s] Tr=100	Q [m ³ /s] Tr=200	Q [m ³ /s] Tr=300
1+225 (LS: 44+736)	0.04	0.93	1.34	1.52	1.69	1.80
1+325 (LS: 44+837)	0.02	0.60	0.86	0.98	1.09	1.15

Tabella 30 – Compluvi minori: portate desunte dalla formulazione $Q=cS^n$ per gli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la linea ferroviaria in variante

Tratta Rocchetta Scalo - San Nicola di Melfi						
Progressiva	Area [km ²]	Q [m ³ /s] Tr=10	Q [m ³ /s] Tr=50	Q [m ³ /s] Tr=100	Q [m ³ /s] Tr=200	Q [m ³ /s] Tr=300
1+831	0.04	0.93	1.34	1.52	1.69	1.80

Tabella 31 – Compluvi minori: portate desunte dalla formulazione $Q=cS^n$ per gli attraversamenti idraulici oggetto di intervento della tratta Cervaro - Rocchetta Scalo.

Attraversamenti viabilità di ricucitura						
Progressiva	Area [km ²]	Q [m ³ /s] Tr=10	Q [m ³ /s] Tr=50	Q [m ³ /s] Tr=100	Q [m ³ /s] Tr=200	Q [m ³ /s] Tr=300
39+281	0.02	0.60	0.86	0.98	1.09	1.15
39+462	0.01	0.38	0.55	0.63	0.70	0.74

Tabella 32 – Compluvi minori: portate desunte dalla formulazione $Q=cS^n$ per gli attraversamenti idraulici di nuova realizzazione lungo le viabilità di ricucitura alla viabilità esistente

RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
		IA0X	02 D 11	RI	ID0001	001	A

10 BIBLIOGRAFIA

AA. VV. *Manuale di Ingegneria Civile e Ambientale*, Zanichelli ESAC, Bologna, 2003.

Autorità di Bacino della Puglia, *Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) – Relazione di Piano*, dicembre 2004.

Autorità di Bacino della Puglia, *Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) – Norme Tecniche di Attuazione*, novembre 2005.

Caroni E., D'Alpaos L., Fattorelli S., Rossi F., Ubertini L., Versace P., Marchi E., *Valutazione delle piene*, C.N.R. °165, 1982.

Copertino V.A. e Fiorentino M., *Valutazione delle piene in Puglia*, Dipartimento di Ingegneria e Fisica dell'Ambiente e GNDCI (Gruppo Nazionale per la difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche), Potenza, 1994.

Da Deppo L., Datei C., "Le opere idrauliche nelle costruzioni stradali", Ed. BIOS, Cosenza, 1999.

Da Deppo L., Datei C., Salandin P., "Sistemazione dei corsi d'acqua", Edizioni Libreria Cortina, Padova, 2004.

Datei C., "Lezioni di Idraulica", Edizioni Libreria Cortina, Padova, 1993.

Ermini R. e M. Fiorentino, *I tempi di ritardo caratteristici dei bacini idrografici*, in: Copertino, V.A. e M. Fiorentino (a cura di), *Valutazione delle piene in Puglia*, Dipartimento di Ingegneria e Fisica dell'Ambiente, Università della Basilicata e GNDCI-CNR, 121-143, 1994.

Hall, M.J. *Urban Hydrology*, Elsevier, London, 1984.

Maione U., *Appunti di idrologia 3. Le piene fluviali*, La Goliardica Pavese, 1977

Marani M., *Processi e modelli dell'Idrometeorologia*, Dispense, 2005.

Prescrizioni generali per la progettazione di RFI (PTP).

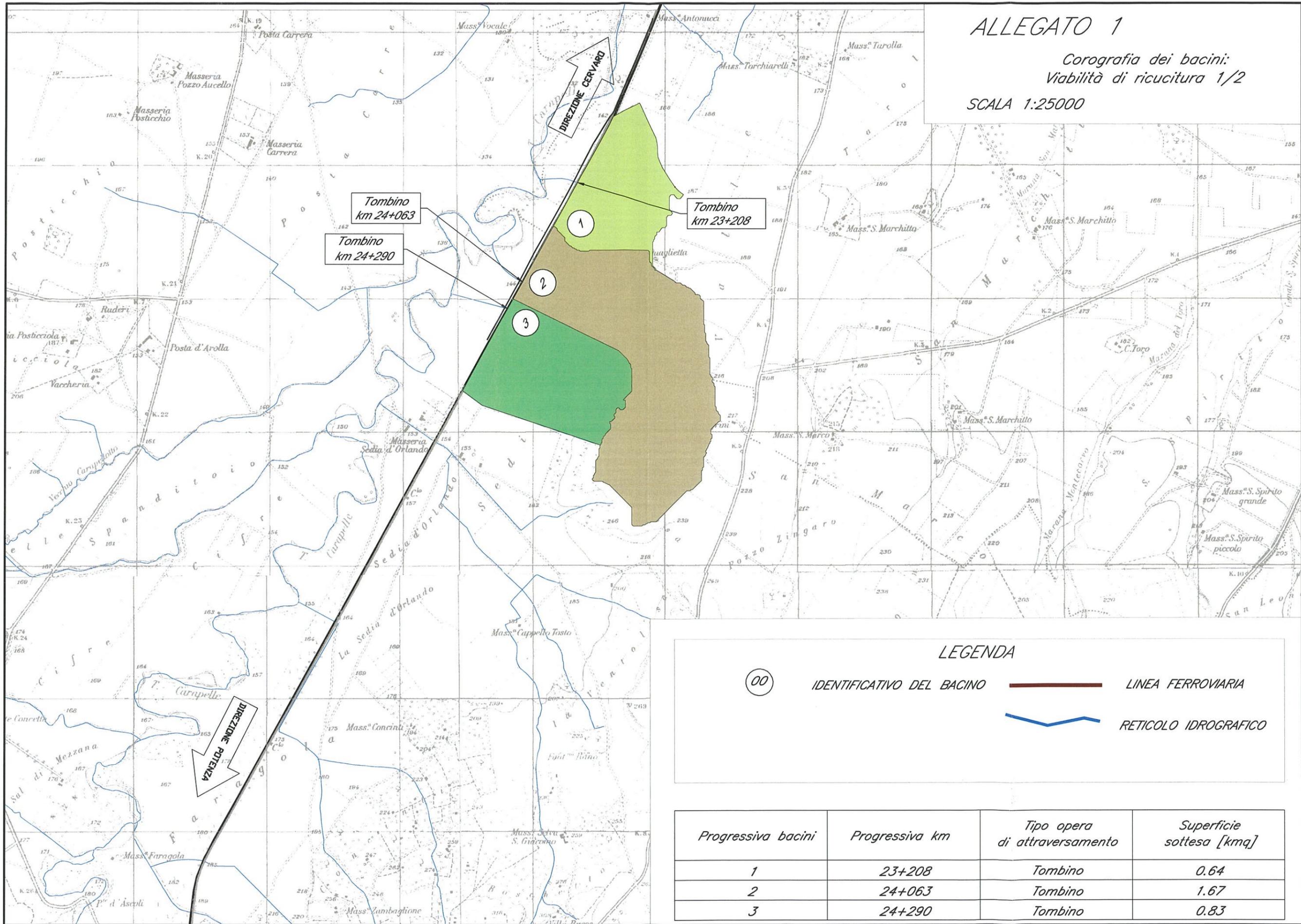
Rossi F., Fiorentino M., Versace P., *Two component extreme value distribution for Flood Frequency Analysis*. Water Resources Research, Vol. 20, N.7, 1984.

Ven Te Chow, "Open-channel hydraulics", McGraw-Hill. Tokyo, 1959.

ALLEGATO 1

Corografia dei bacini:
Viabilità di ricucitura 1/2

SCALA 1:25000



LEGENDA

00

IDENTIFICATIVO DEL BACINO



LINEA FERROVIARIA



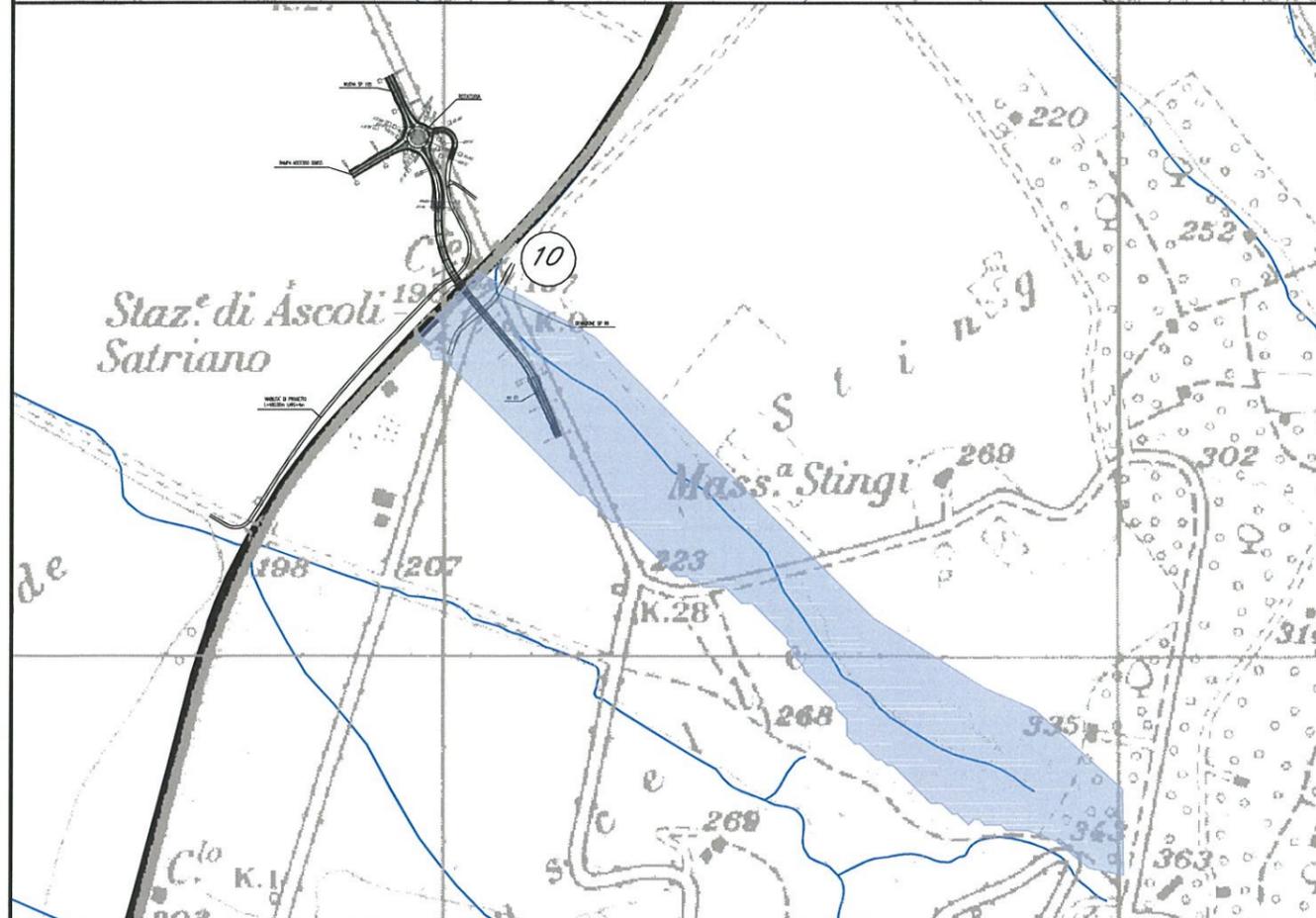
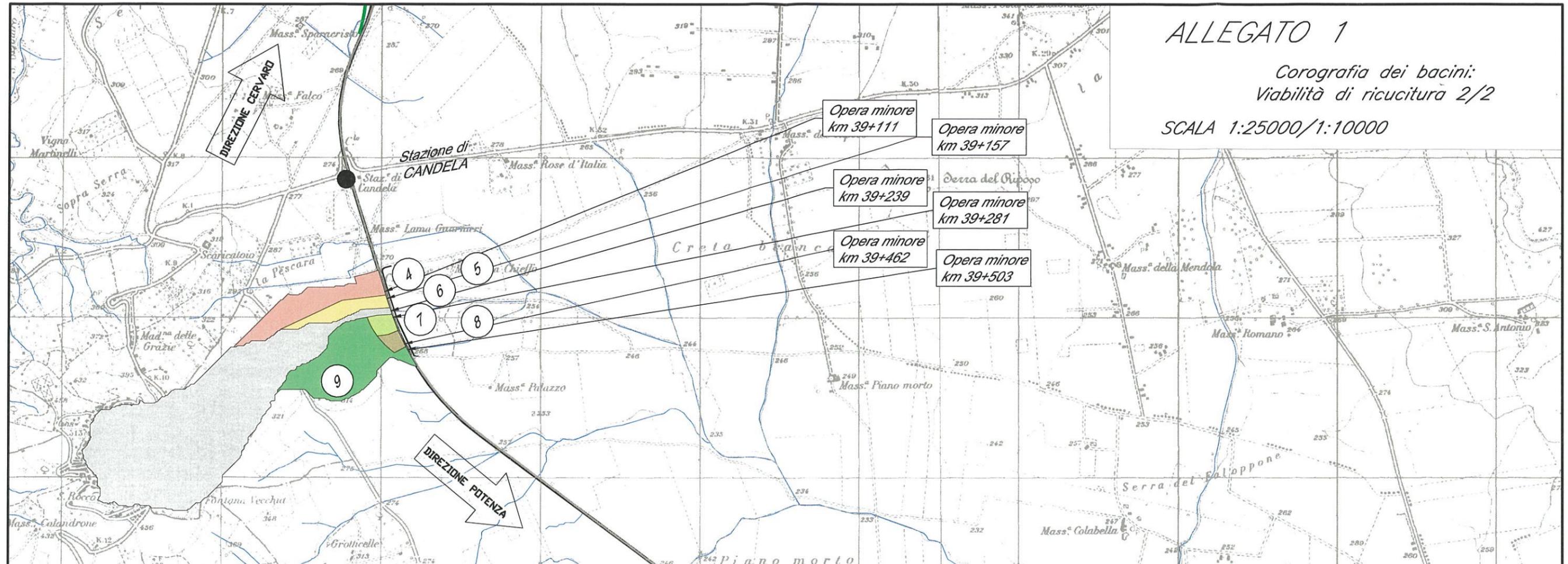
RETICOLO IDROGRAFICO

Progressiva bacini	Progressiva km	Tipo opera di attraversamento	Superficie sottesa [kmq]
1	23+208	Tombino	0.64
2	24+063	Tombino	1.67
3	24+290	Tombino	0.83

ALLEGATO 1

Corografia dei bacini:
Viabilità di ricucitura 2/2

SCALA 1:25000/1:10000



LEGENDA

00

IDENTIFICATIVO DEL BACINO



LINEA FERROVIARIA



RETICOLO IDROGRAFICO

Progressiva bacini	Progressiva km	Tipo opera di attraversamento	Superficie sottesa [kmq]
4	39+111	Tombino	0.64
5	39+157	Tombino	1.67
6	39+239	Tombino	0.83
7	39+281	Tombino	0.83
8	39+462	Tombino	0.83
9	39+503	Tombino	0.83
10	NV05	Tombino	0.20