



UNIONE EUROPEA
FONDO EUROPEO DI SVILUPPO REGIONALE



**Autorità di Bacino
della Puglia**



REGIONE PUGLIA
Area Politiche per la riqualificazione, la tutela
e la sicurezza ambientale
e per l'attuazione delle opere pubbliche
SERVIZIO RISORSE NATURALI

P.O. FESR 2007 – 2013
PROGRAMMA PLURIENNALE DI ATTUAZIONE DELL'ASSE II

AZIONE 2.3.6.
**“MIGLIORAMENTO DEL SISTEMA DELL'INFORMAZIONE,
DEL MONITORAGGIO E DEL CONTROLLO
NEL SETTORE DELLA DIFESA DEL SUOLO”**

**STUDIO PER LA DEFINIZIONE DELLE OPERE
NECESSARIE ALLA MESSA IN SICUREZZA DEL
RETICOLO IDRAULICO PUGLIESE, CON
PARTICOLARE RIFERIMENTO ALLE AREE DEL
GARGANO, DELLE COSTE JONICHE E SALENTINE
DELLA REGIONE PUGLIA**

RELAZIONE GENERALE
CERVARO

Segretario Generale dell'AdBP: Prof. Ing. Antonio Rosario Di Santo

Coordinatori: Ing. Lia Romano e Ing. Pamela Milella, funzionari tecnici della Segreteria Tecnica Operativa dell'AdBP

Gruppo di lavoro: Ing. Valeria De Gennaro, Ing. Stefania Geronimo, Ing. Maria Montaruli, Ing. Giuseppe Verdiani

Rilievi topografici: Ing. Vito Caponio, Ing. Alessandro Micchetti, Geom. Stefano Savino, Ing. Francesco Serafino

Ufficio Cartografia e SIT: Ing. Nicola Lopez

Si ringrazia l'Ufficio Rischio Idraulico della Segreteria Tecnica Operativa dell'AdBP.

L'Autorità di Bacino della Puglia e le persone che agiscono per conto dell'ente non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo documento, al di fuori delle finalità per le quali esso è stato redatto.



AUTORITÀ DI BACINO DELLA PUGLIA

L.R. 9 Dicembre 2002 n. 19

C/o INNOVA PUGLIA S.P.A - (EX TECNOPOLIS CSATA)

Str. Prov. per Casamassima Km 3 - 70010 Valenzano - Bari

tel. 080 - 9182238-242-243-269 fax. 080 9182244 - C.F. 93289020724

www.adb.puglia.it e-mail: segreteria@adb.puglia.it - PEC: segreteria@pec.adb.puglia.it

Ultimo aggiornamento: dicembre 2015

Gli elaborati del presente studio non sono riutilizzabili né modificabili da soggetti terzi, per aree esterne a quelle del bacino del Cervaro.

INDICE

ELENCO ALLEGATI.....	III
PREMESSA.....	V
ANALISI CONOSCITIVA – I.....	1
1.1 IL DATABASE GEORIFERITO DEGLI EVENTI ALLUVIONALI.....	3
1.2 L'EVENTO ALLUVIONALE DEL 30 NOVEMBRE – 3 DICEMBRE 2013.....	4
1.2.1 La precipitazione del 30 novembre – 3 dicembre 2013.....	4
1.2.2 Gli effetti al suolo.....	17
1.3 I CORSI D'ACQUA RICADENTI NEL BACINO DEL TORRENTE CERVARO	21
1.3.1 Analisi qualitativa.....	21
1.3.2 Analisi quantitativa	23
1.4 LE STAZIONI PLUVIOMETRICHE.....	27
1.4.1 La rete della SMM-CFR Puglia.....	27
1.4.2 La rete Assocodipuglia.....	28
RILIEVI TOPOGRAFICI – II	29
2.1 I CORSI D'ACQUA RICADENTI NEL BACINO DEL TORRENTE CERVARO	31
2.2 I RILIEVI LIDAR.....	32
2.3 IL RILIEVO DELLE OPERE DI ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO	34
2.3.1 Descrizione della scheda monografica	35
2.4 LA RAPPRESENTAZIONE VETTORIALE DEI CORSI D'ACQUA.....	41
CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOIDROLOGICA – III	43
3.1 LE MAPPE PER LE ANALISI IDROLOGICHE	45
3.1.1 I raster delle direzioni di flusso e delle aree contribuenti.....	45
3.2 LA SCABREZZA IDRAULICA	46
3.2.1 Le componenti della resistenza al flusso.....	47
3.2.2 La resistenza in regime di ruscellamento superficiale	48
3.2.3 Attribuzione dell'indice di Manning alle categorie di uso del suolo.....	49
VALUTAZIONI IDROLOGICHE – IV	53
4.1 MODELLI IDROLOGICI PER LA VALUTAZIONE DELLE PORTATE E DEI VOLUMI DI PIENA	55
4.2 IL VOLUME MASSIMO DI PROGETTO	61
MODELLAZIONE IDRAULICA – V	63
5.0 INTRODUZIONE.....	65
5.0.1 Schematismo 1D e 2D.....	67
5.0.2 Il modello di calcolo TUFLOW.....	67
5.0.3 La pericolosità idraulica relativa	70
5.1 TORRENTE CERVARO.....	75
5.1.1 Descrizione geografica e morfologica	75
5.1.2 Scabrezza.....	75
5.1.3 Portate	75
5.1.4 Schematismo idraulico	83
5.1.5 Analisi delle opere di attraversamento idraulico.....	87
5.1.6 Criticità urbane / produttive.....	90
VALUTAZIONE PRELIMINARE DEGLI INTERVENTI – VI.....	93
6.0 DESCRIZIONE GENERALE.....	95
6.1 TORRENTE CERVARO.....	99
6.2 TORRENTE AVELLA.....	101
6.3 TORRENTE LAVELLA.....	101
6.4 TORRENTE SANNORO.....	102

6.5	TORRENTE POTESANO.....	103
6.6	CANALE RUANELLA	103
6.7	CANALE SAN LORENZO.....	104
LINEE GUIDA DI PROGETTAZIONE – VII		107
7.1	IL QUADRO NORMATIVO	109
7.2	CRITERI DI PROGETTAZIONE	109
CONCLUSIONI		115
BIBLIOGRAFIA		121

ELENCO ALLEGATI

- 1.1.1 - Eventi alluvionali. Rappresentazione cartografica
- 1.1.2 - Elenco degli eventi alluvionali
- 1.2.1 - Carta geolitologica
- 1.2.2 - Carta dell'uso del suolo
- 1.3.1 - Zone omogenee e stazioni pluviometriche
- 1.3.2 - Elenco delle stazioni pluviometriche

- 2.1 - Corsi d'acqua ricadenti nel bacino del torrente Cervaro. Area contribuente uguale o maggiore di 25 km²
- 2.2 - Copertura Lidar
- 2.3.1 - Attraversamenti idraulici rilevati nel bacino del torrente Cervaro Rappresentazione cartografica
- 2.3.2 - Scheda monografica rilievo attraversamenti
- 2.3.3 - Elenco attraversamenti rilevati
- 2.3.4 - Caratteristiche geometriche degli attraversamenti minori
- 2.4.1a - Rappresentazione vettoriale del modello geometrico del Cervaro - TAV.1
- 2.4.1b - Rappresentazione vettoriale del modello geometrico del Cervaro - TAV.2
- 2.4.1c - Rappresentazione vettoriale del modello geometrico del Cervaro - TAV.3
- 2.4.1d - Rappresentazione vettoriale del modello geometrico del Cervaro - TAV.4
- 2.4.1e - Rappresentazione vettoriale del modello geometrico del Cervaro - TAV.5
- 2.4.1f - Rappresentazione vettoriale del modello geometrico del Cervaro - TAV.6

- 3.1 - L'indice di Manning. Relazione

- 4.0 – Risultati delle analisi idrologiche

- 5.0 - Schedario dei modelli idraulici
- 5.1.1 - Risultanze idrauliche 2D, T200, Cervaro TAV.1
- 5.1.2 - Risultanze idrauliche 2D, T200, Cervaro TAV.2
- 5.1.3 - Risultanze idrauliche 2D, T200, Cervaro TAV.3
- 5.1.4 - Risultanze idrauliche 2D, T200, Cervaro TAV.4
- 5.1.5 - Risultanze idrauliche 2D, T200, Cervaro TAV.5

- 6.0.1 - Aree critiche relative al reticolo idrografico principale
- 6.0.2 - Aree critiche relative al reticolo idrografico minore
- 6.0.3 - Attraversamenti idraulici a rischio
- 6.0.4 - Elementi esposti a rischio idraulico
- 6.1.0 - Interventi di mitigazione del rischio idraulico per il torrente Cervaro. Corografia generale

PREMESSA

L'Autorità di Bacino della Puglia, nel seguito denominata AdBP, è stata individuata come ente attuatore dell'elaborazione dello "Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico pugliese, con particolare riferimento alle aree del Gargano, delle coste joniche e salentine della Regione Puglia", da parte della Regione Puglia, nell'ambito del PPA dell'Asse II del PO FESR 2007 – 2013, approvato con D.G.R. della Puglia n. 850/2009 e modificato con D.G.R. della Puglia n. 1969/2010, relativamente all'Azione 2.3.6.

L'Autorità di Bacino della Puglia, organo istituzionalmente preposto alla difesa del suolo, ha, dall'atto della sua istituzione, avviato le procedure finalizzate alla individuazione, con grado di dettaglio sempre maggiore, delle criticità idrauliche presenti nel territorio di competenza e alla loro soluzione attraverso la programmazione di interventi di mitigazione del rischio idraulico.

La necessità di definire un quadro conoscitivo delle criticità idrauliche sempre più dettagliato evidenzia, tuttavia, una notevole onerosità dello sforzo richiesto, se si pensa alla estrema varietà del paesaggio del territorio regionale pugliese.

Le attività di cui al presente disciplinare pertanto, intendono restituire un quadro completo, coerente ed aggiornato delle aree a criticità idraulica complessivamente presenti nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia e di individuare le azioni di mitigazione più appropriate per la messa in sicurezza delle aree a rischio. Lo studio presentato integra il progetto "Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico interessate dagli eventi alluvionali di Ottobre e Novembre 2005 nelle province di Bari e Brindisi", finanziato dalla Regione Puglia con fondi di cui alla delibera CIPE 35 del 2005, nonché a supporto delle attività della Direttiva Alluvioni 2007/60/CE.

Il presente lavoro, secondo l'art. 2 del Disciplinare regolante i rapporti tra Regione e AdBP, è di seguito sintetizzato:

1. integrazioni di dettaglio del quadro conoscitivo generale delle caratteristiche geomorfologiche, idrologiche ed idrauliche dei bacini idrografici afferenti i corsi delle aree di studio, attraverso l'organizzazione, l'informatizzazione e la strutturazione in database relazionale, di tutte le informazioni di natura territoriale ed ambientale disponibili, ottenute sulla base di studi e ricerche, nonché su quelle relative ad eventi alluvionali passati, interventi effettuati e risultati conseguiti;
2. rilevamento topografico di dettaglio e restituzione in formato vettoriale dell'asse dei corsi d'acqua e di un congruo numero di sezioni trasversali, estese fino al limite della fascia di pertinenza fluviale, comprensivo del rilievo di dettaglio di tutti i manufatti interferenti con le predette aree di pertinenza;
3. studio delle caratteristiche idrauliche e di permeabilità delle forme carsiche naturali (voragini, inghiottitoi) presenti in corrispondenza dei recapiti finali dei bacini endoreici e stima delle loro potenzialità di smaltimento delle piene in occasione di eventi alluvionali;
4. sviluppo di modellazioni di tipo mono e bidimensionale, anche attraverso l'ausilio di opportuni codici di calcolo preventivamente selezionati e sperimentati, della dinamica idrologica ed idraulica dei corsi d'acqua e delle aree endoreiche oggetto dello studio, secondo diverse condizioni di regime di moto, e mediante individuazione delle potenziali aree oggetto di inondazione, in funzione dei diversi tempi di ritorno degli eventi meteo climatici;
5. definizione delle opere e/o interventi più efficaci per la salvaguardia e la messa in sicurezza del territorio a diverso grado di pericolosità idraulica e definizione di linee di indirizzo sulle più opportune tecniche di mitigazione dei rischi nelle aree a vario titolo interessate da pericolosità di inondazione.

Obiettivo del presente studio è dunque quello di definire gli interventi urgenti per la messa in sicurezza del territorio afferente al bacino del torrente Cervaro. Nello specifico, sono individuati gli elementi a rischio, quali infrastrutture viarie e insediamenti urbani e produttivi, operando dapprima un'accurata analisi geomorfologica e idrologica e secondariamente una modellistica di tipo monodimensionale e bidimensionale per la mappatura sistematica della pericolosità idraulica e per la verifica della funzionalità idraulica delle opere d'arte di attraversamento, avendo come riferimento il

sistema di corsi d'acqua aventi bacino contribuente maggiore/uguale di 25 km² - limite adottato per l'implementazione delle Direttiva Alluvioni 2007/60/CE, secondo il D.Lgs. 49/2010.

La presente relazione, resa al fine di illustrare le analisi condotte e i risultati raggiunti, è organizzata in sette capitoli (riportati a seguire), ognuno dei quali affronta con esaustività l'argomento in esame, indipendentemente dai contenuti degli altri. Per ogni capitolo sono presentati specifici allegati, in forma sia di cartografie ed elaborati tecnici di dettaglio, nonché di file digitali (shapefile, raster, modelli idraulici), i quali debbono intendersi parte integrante del presente studio e a cui la relazione puntualmente rimanda attraverso i richiami rappresentati con la seguente simbologia: [\CARTELLA\file.estensione].

<i>Capitolo I:</i>	<i>Analisi conoscitiva</i>
<i>Capitolo II:</i>	<i>Rilievi topografici</i>
<i>Capitolo III:</i>	<i>Caratterizzazione geomorfoidrologica</i>
<i>Capitolo IV:</i>	<i>Valutazioni idrologiche</i>
<i>Capitolo V:</i>	<i>Modellazione idraulica</i>
<i>Capitolo VI:</i>	<i>Valutazione preliminare interventi</i>
<i>Capitolo VII:</i>	<i>Linee guida di progettazione</i>

Lo studio prende avvio da un'analisi conoscitiva (capitolo I) finalizzata a raccogliere ogni elemento utile per la definizione della pericolosità idraulica, attraverso una ricostruzione storico-geografica degli eventi alluvionali e una analisi delle caratteristiche dei bacini idrografici dal punto di vista geologico, geomorfologico e di copertura del suolo, con l'obiettivo ultimo di operare una calibrazione della risposta idrologica del bacino.

Al fine di costruire i modelli geometrici (capitolo II), alla base della modellistica idraulica, sono acquisiti e processati i rilievi topografici di tipo LIDAR, nonché realizzate delle schede monografiche delle opere di attraversamento idraulico.

Si definiscono infine le caratteristiche geomorfologiche, idrologiche ed idrauliche dei bacini idrografici afferenti ai corsi d'acqua oggetto dello studio (capitolo III), mediante l'elaborazione di mappe in formato raster e vettoriale, utili nelle procedure di studio idrologico ed idraulico al processamento in ambiente GIS finalizzato alla stima delle perdite idrologiche e della resistenza al flusso e alla definizione dell'area contribuente, avendo particolare attenzione alla determinazione della componente endoreica.

A partire dai dati analizzati nelle fasi precedentemente descritte, lo studio (capitolo IV) definisce le portate di piena con assegnato tempo di ritorno, lungo le aste indagate.

Sulla base delle analisi idrologiche e dei modelli geometrici realizzati, è dunque operata una mappatura sistematica della pericolosità idraulica (capitolo V) sui corsi d'acqua principali, mediante l'utilizzo di schematismi idraulici monodimensionali e bidimensionali. I modelli consentono la determinazione delle grandezze idrodinamiche, ovvero dei tiranti e delle velocità della corrente, la cui rappresentazione è altresì richiesta dalla Direttiva Alluvioni.

Infine sono individuate le criticità connesse al reticolo idrografico e i provvedimenti di tipo strutturale e non strutturale, a scala di bacino, necessari alla messa in sicurezza del territorio (capitolo VI).

Sulla base dei danni determinati dai recenti eventi alluvionali, si definisce la necessità di individuare linee guida di progettazione per le opere di attraversamento idraulico, punti di particolare criticità in caso di eventi di piena (capitolo VII).

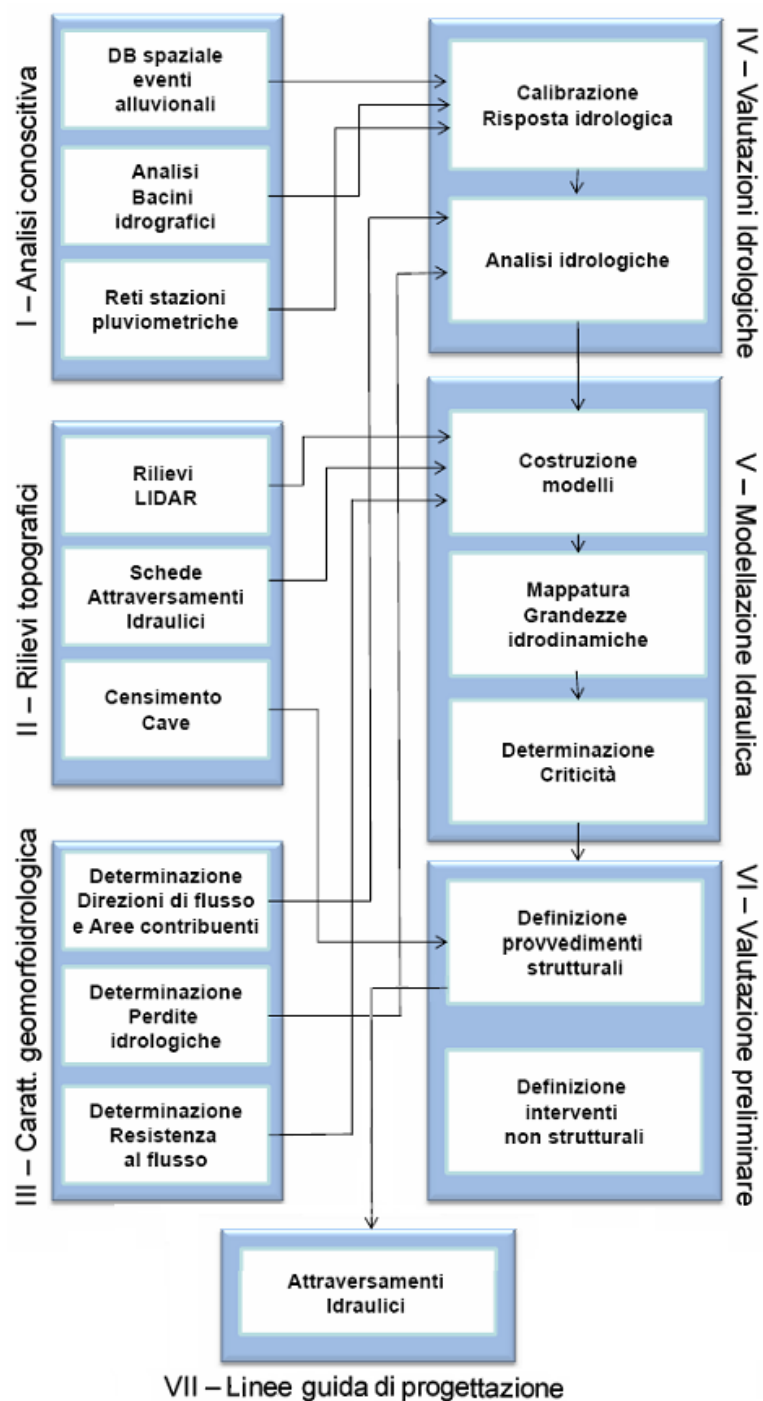


Figura 0 – Workflow del progetto

Gli elaborati del presente studio non sono riutilizzabili né modificabili da soggetti terzi, per aree esterne a quelle del bacino del Cervaro.

Analisi conoscitiva – I

ALLEGATI



- 1.1.1 - Eventi alluvionali. Rappresentazione cartografica
- 1.1.2 - Elenco degli eventi alluvionali
- 1.2.1 - Carta geolitologica
- 1.2.2 - Carta dell'uso del suolo
- 1.3.1 - Zone omogenee e stazioni pluviometriche
- 1.3.2 - Elenco delle stazioni pluviometriche

ARCHIVIO DIGITALE



- \EVENTI_ALLUVIONALI
 - Eventi alluvionali (shp e kmz)
 - \FOTO\Eventi cervaro (jpeg)
 - \REGISTRAZIONI\da servizio idrografico (zip)
- \CARTOGRAFIA_DI_BASE
 - Carta geolitologica (shp)
 - Carta dell'uso del suolo (shp)
 - Zone_omogenee (shp)
- \RETI_PLUVIOMETRICHE
 - Stazioni pluviometriche 2014 SMMPuglia e topoieti (shp e kmz)
 - Stazioni pluviometriche ASSOCODIPUGLIA (shp e kmz)



Obiettivo di questa fase è l'integrazione del quadro conoscitivo generale per la definizione di maggior dettaglio delle caratteristiche geomorfologiche, idrologiche ed idrauliche dei principali bacini idrografici afferenti il corso d'acqua Cervaro che interessano i territori della provincia di Avellino e di Foggia

Dapprima, è realizzato un *database* georiferito, relativo agli eventi alluvionali che hanno colpito le province di Foggia e Avellino, al fine di una facile comprensione della pericolosità idraulica dei luoghi e per l'individuazione preliminare degli interventi di messa in sicurezza del territorio. Tale *database* rappresenta inoltre una preziosa fonte di elementi di taratura per la modellistica idrologica utilizzata sul territorio pugliese di esame, dove è assente una rete di monitoraggio delle portate idriche.

Si è poi analizzato e ricostruito l'evento del 30 novembre – 3 dicembre 2013 che ha interessato il Subappennino Dauno avendo quale riferimento il bacino idrografico del torrente Cervaro.

1.1 IL DATABASE GEORIFERITO DEGLI EVENTI ALLUVIONALI

Sulla base delle informazioni reperite da fonti giornalistiche (es. Gazzetta del Mezzogiorno) e progetti ministeriali (es. Progetto Speciale AVI del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche GNDICI - CNR, commissionato dal Ministro per il Coordinamento della Protezione Civile) è creato un *database* ricognitivo georeferenziato degli eventi alluvionali che hanno interessato i corsi d'acqua afferenti il torrente Cervaro. Gli allegati 1.1.1 e 1.1.2 riportano rispettivamente la rappresentazione cartografica degli eventi e il contenuto testuale di tale archivio. La tabella seguente descrive i campi in cui è articolato il database, riportante diverse informazioni, quali l'identificativo dell'evento alluvionale riportato nell'allegato 1.1.1, la data di accadimento, l'inquadramento geografico, la descrizione del fenomeno e la fonte storica.

Tabella 1.1 - Elenco dei campi del database riportato nell'Allegato 1.1.2

Campo	Descrizione
ID	Identificativo record
Data	Data espressa in <i>ggmmaaaa</i> , <i>mmaaaa</i> o <i>aaaa</i>
Provincia (Pr)	Provincia interessata
Comune	Comune coinvolto
Località	Nome della località interessata oppure breve descrizione dell'area interessata
Effetti al suolo	Descrizione dei danni indotti dal processo
Parametri dimensionali	Parametri dimensionali riferiti al processo (es. volume, tirante d'acqua e/o velocità idriche di scorrimento)
Fonte	Elenco delle fonti da cui sono tratte le informazioni

Il database rappresenta un sistema integrato di conoscenze territoriali sugli eventi storici alluvionali e si configura come punto di partenza per l'individuazione delle misure e degli interventi di carattere gestionale e/o strutturale in materia di mitigazione del rischio.

La rappresentazione vettoriale del database è fornita come .kmz per la visualizzazione su Google Earth nella cartella [\ALL_1_ANALISI_CONOSCITIVA\EVENTI_ALLUVIONALI\Eventi_alluvionali.kmz]

1.2 L'EVENTO ALLUVIONALE DEL 30 NOVEMBRE – 3 DICEMBRE 2013

Particolare attenzione è dedicata all'esame dell'evento alluvionale che ha colpito l'intero territorio regionale ed in particolare il Subappennino Dauno, tra il 30 novembre e il 3 dicembre 2013, avendo quale riferimento il bacino idrografico del torrente Cervaro.

I maggiori disagi si sono verificati nei territori comunali di Orsara di Puglia e Bovino, ove si è resa necessaria l'interruzione del traffico sulla linea ferroviaria Foggia-Benevento. A seguito di tali eventi, la Protezione Civile ha richiesto la dichiarazione dello "stato emergenza" ai sensi dell'art.5, comma 1, della l. 225/1992, formulata con Deliberazione della giunta regionale della Puglia n° 2410 del 10.12.2013, e prodotto una relazione nella quale sono stati analizzati e descritti gli eventi eccezionali verificatisi, dal punto di vista meteorologico, pluviometrico ed idrometrico.

Si esamina quindi nel dettaglio l'evento suddetto, in relazione all'evolversi del fenomeno precipitativo, nonché degli effetti al suolo prodotti.

1.2.1 La precipitazione del 30 novembre – 3 dicembre 2013

A partire dal 30 novembre al 3 dicembre 2013 l'intero territorio regionale e in particolare il Subappennino Dauno è stato interessato da precipitazioni diffuse e persistenti, anche a carattere di rovescio o temporale, con forti raffiche di vento e mareggiate, che hanno determinato allagamenti in ambito urbano ed extraurbano, frane e smottamenti, con seri danni alle infrastrutture idrauliche e alla viabilità.

L'evento pluviometrico ha avuto inizio a partire dalla nottata del 30 novembre 2013, interessando inizialmente la parte sud per poi estendersi, quasi ininterrottamente fino al giorno 03 dicembre, alla parte ionica e centro-settentrionale della regione. Si riporta nel seguito l'evoluzione della situazione pluviometrica nei giorni dell'evento:

- *Sabato 30 novembre*, il flusso perturbato principale scorre ad alte latitudini, forzato da un anticiclone atlantico che si estende fino al 50° parallelo Nord. Sul bordo orientale dell'anticiclone scorre un intenso getto settentrionale che alimenta di aria fredda la vasta depressione già presente sul Mediterraneo centrale e Nord Africa. Un getto da sud, in uscita da tale depressione, determina lo sviluppo di una linea di convergenza, disposta dal Salento alle coste della Calabria: la convezione organizzata che si sviluppa in seno ad essa è all'origine di fenomeni intensi (precipitazioni diffuse, a prevalente carattere di rovescio o temporale, e vento forte da sud-est) sulla Puglia salentina nella seconda parte della giornata.
- *Domenica 1 dicembre*, la penisola italiana si trova ancora sotto l'azione della vasta area ciclonica alimentata da una moderata avvezione di aria fredda in quota e dal forcing dinamico del getto in uscita dalle coste nord africane. Precipitazioni diffuse e persistenti, anche a carattere di rovescio o temporale, si manifestano sulla Puglia centro-settentrionale, con quantitativi cumulati puntualmente elevati; da sparse a diffuse, anche a carattere di rovescio o temporale, sulla Puglia meridionale. Ancora venti forti o di burrasca dai quadranti orientali.
- *Lunedì 2 dicembre*, sul Mediterraneo centro-occidentale e sul Nord Africa staziona la circolazione depressionaria che presenta ancora un consistente forcing in quota sul suo bordo meridionale. Il minimo nei bassi strati posizionato sul Tirreno centro-meridionale tende gradualmente a spostarsi, colmandosi, sullo Jonio meridionale. Nei bassi strati un flusso da sud-est investe la Puglia salentina, con una modesta ripresa dei fenomeni nella seconda parte della giornata; un flusso nord-orientale sostenuto interessa invece la fascia adriatica centro-meridionale, con precipitazioni diffuse, anche a carattere di rovescio o temporale, sulla Murgia centro-settentrionale e sui rilievi Garganici e sub-appenninici.
- *Martedì 3 dicembre*, il minimo in quota sul Mediterraneo centro-occidentale e sul Nord Africa è in fase di colmamento ed è disallineato rispetto al minimo al suolo posizionato ad ovest della Sardegna, anch'esso in via di colmamento. Sulla Puglia precipitazioni da isolate a sparse, localmente a carattere di rovescio o temporale, con quantitativi cumulati deboli sulla Puglia centromeridionale e localmente moderati sul Sub-appennino Dauno.

Si riporta la sequenza temporale della distribuzione delle precipitazioni cumulate, ottenuta per interpolazione dei valori rilevati dalle stazioni in telemisura, nelle varie fasi dell'evento pluviometrico.

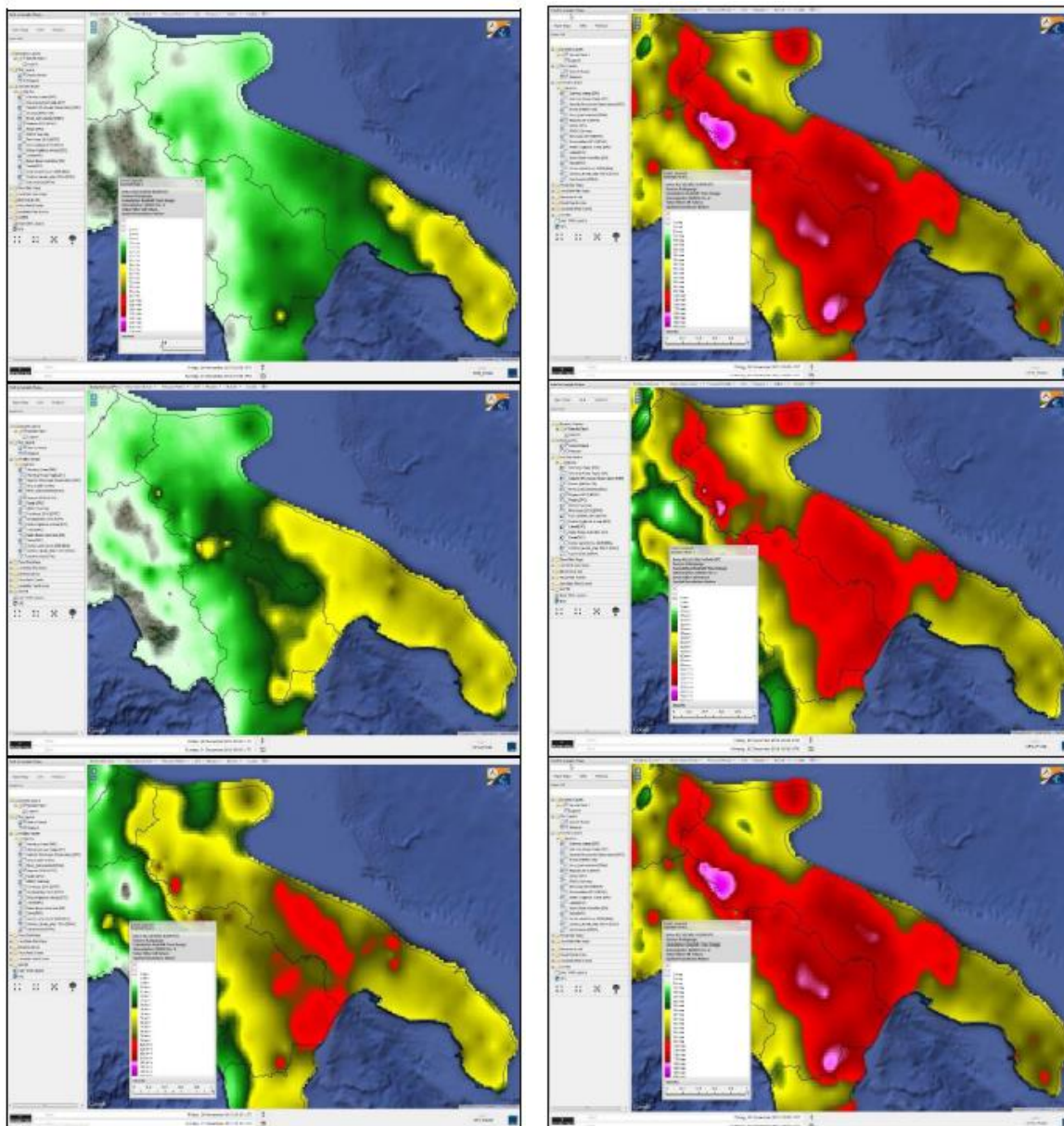


Figura 1.1– Distribuzione delle precipitazioni cumulate tra il 3.01.2013 e il 04.12.2013
[Fonte: Protezione Civile]

Al fine di ricavare informazioni utili riguardo l'eccezionalità dell'evento verificatosi, è stato analizzato con maggiore dettaglio il tratto del torrente Cervaro, in corrispondenza del Ponte di Bovino (FG). Il bacino idrografico, avente sezione di chiusura in corrispondenza dell'attraversamento della S.P.106, dove è ubicata la stazione idrografica, presenta un'area di circa 322 km². Di seguito si riporta la rappresentazione del bacino idrografico e le caratteristiche fisiografiche dello stesso, unitamente alle stazioni pluviometriche appartenenti alla Struttura di Monitoraggio Meteo-climatico del Centro Funzionale Regionale (già Ufficio Idrografico e Mareografico) con i relativi topografi di competenza.

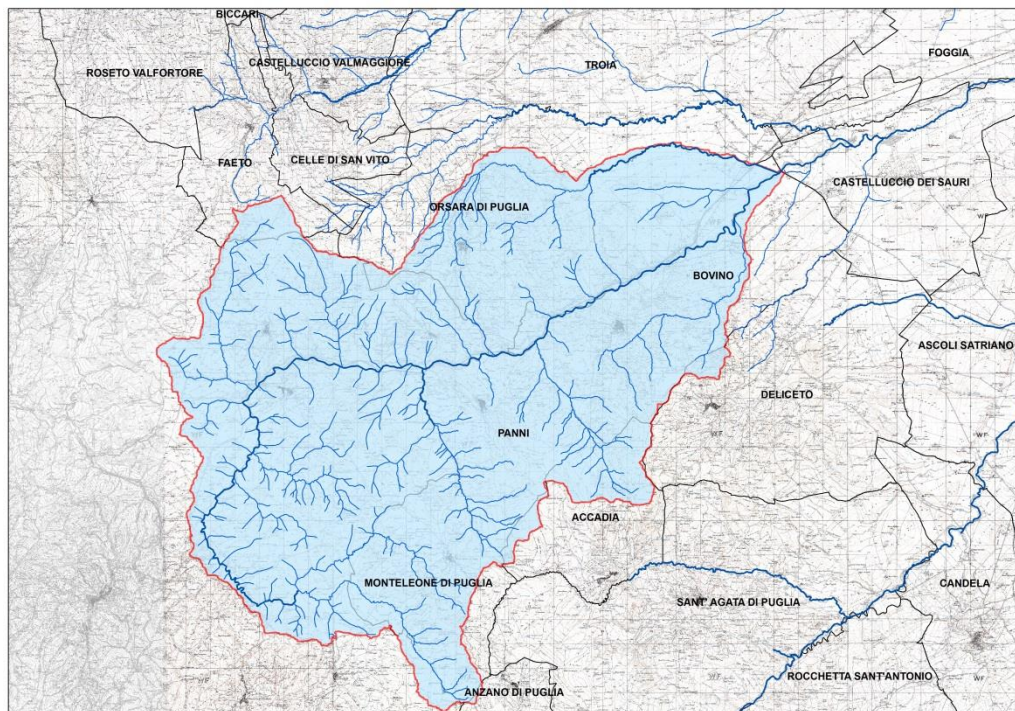


Figura 1.2 – Rappresentazione bacino idrografico del Torrente Cervaro in corrispondenza della SP106

Tabella 1.1 - Caratteristiche fisiografiche bacino

Area (km ²)	L (km)	Z _{max} (m s.l.m)	Z _{min} (m s.l.m)	Z _{med} (m s.l.m)	i _m (%)
322	59.8	1102	199.21	606.39	1.5

Tabella 1.2 – Stazioni pluviometriche ed indicazione delle aree del topoiuto di competenza

Stazioni pluviometriche	Area Topoiuto di competenza (km ²)
Anzano di Puglia	6.88
Bovino	59.61
Deliceto	12.38
Faeto	8.26
Monteleone	50.52
Orsara	47.88
Panni	45.80
Sant'Agata di Puglia	0.22
Savignano Irpino	90.53
Castelluccio Sauri	6.15
Troia	3.86

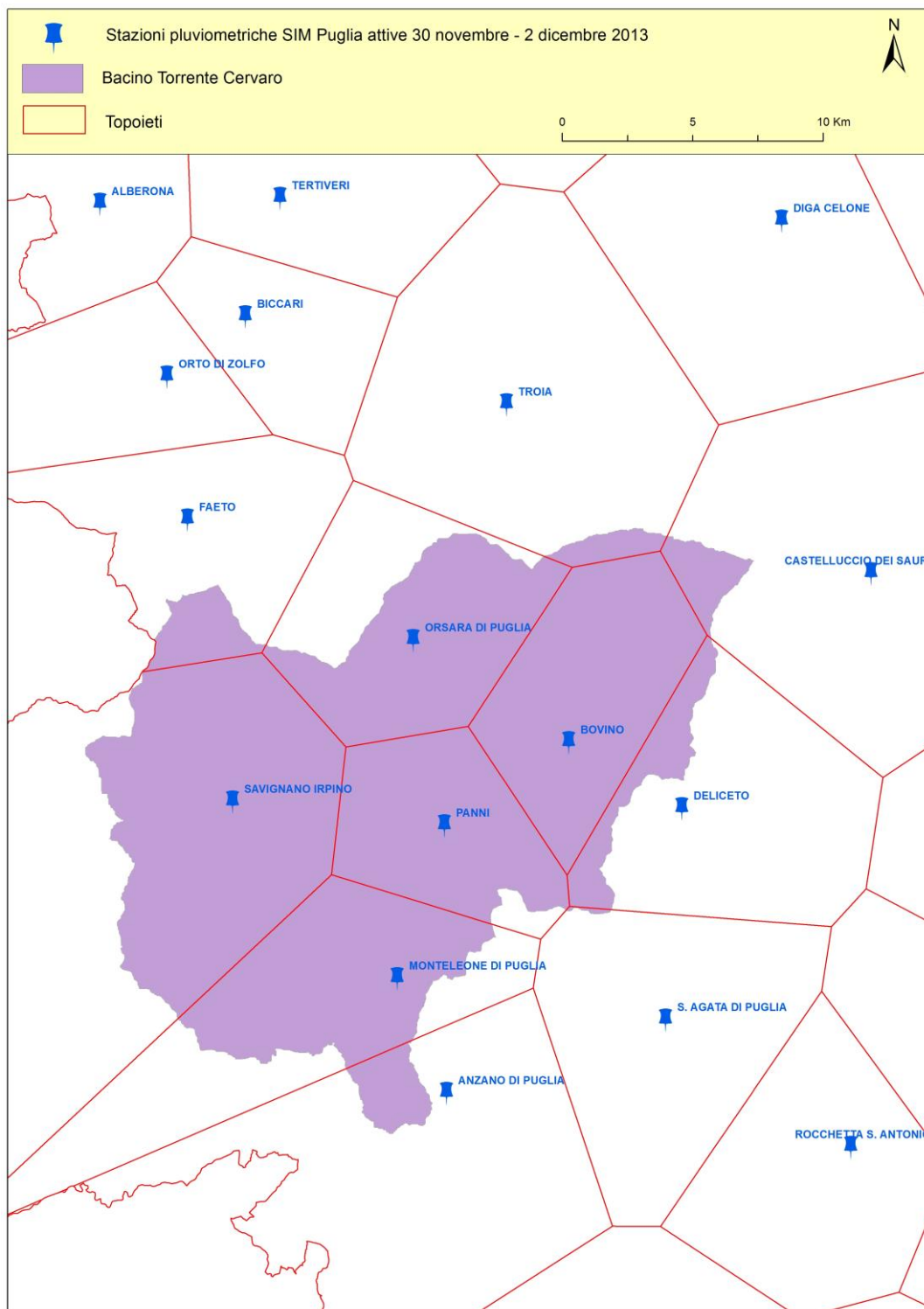
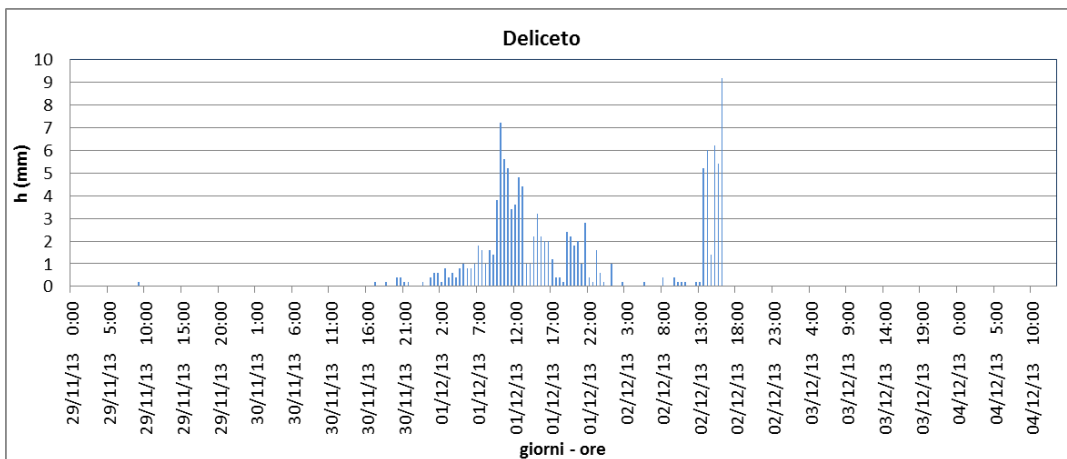
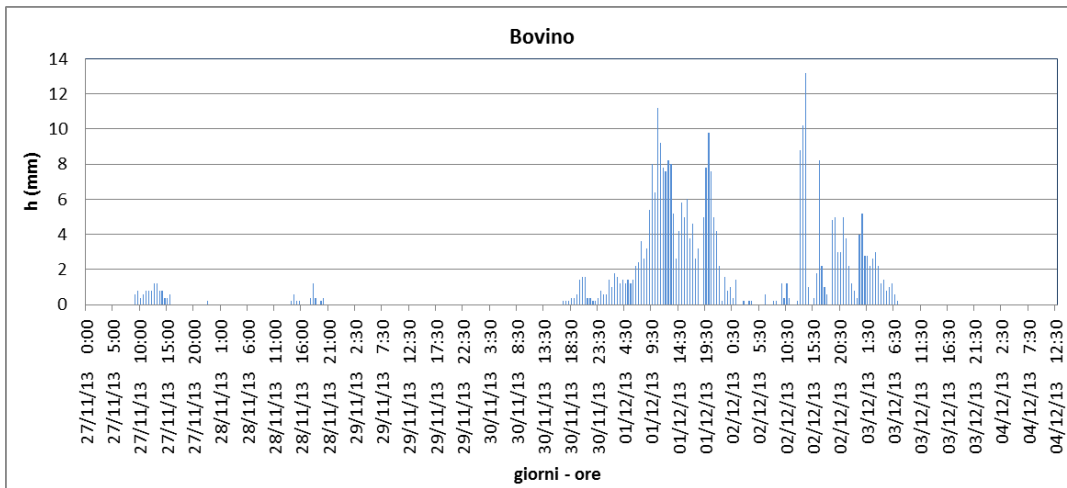
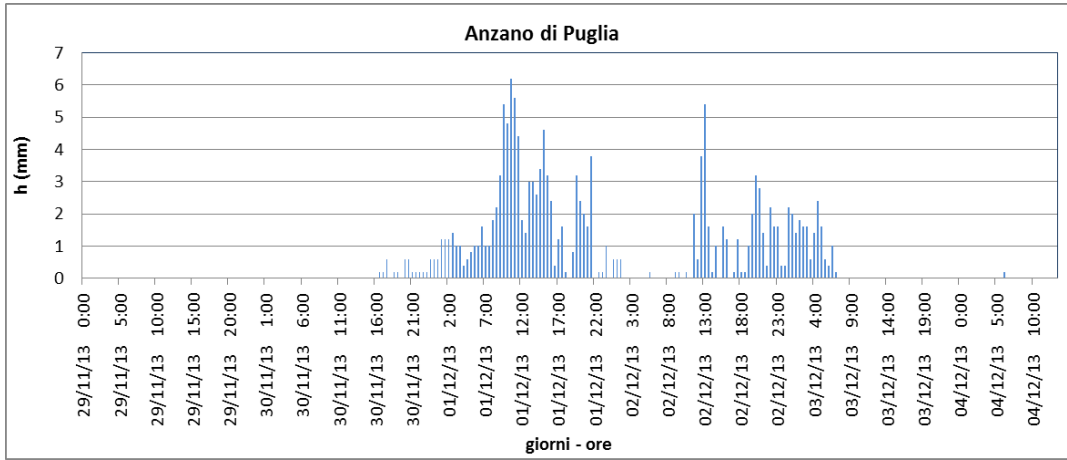
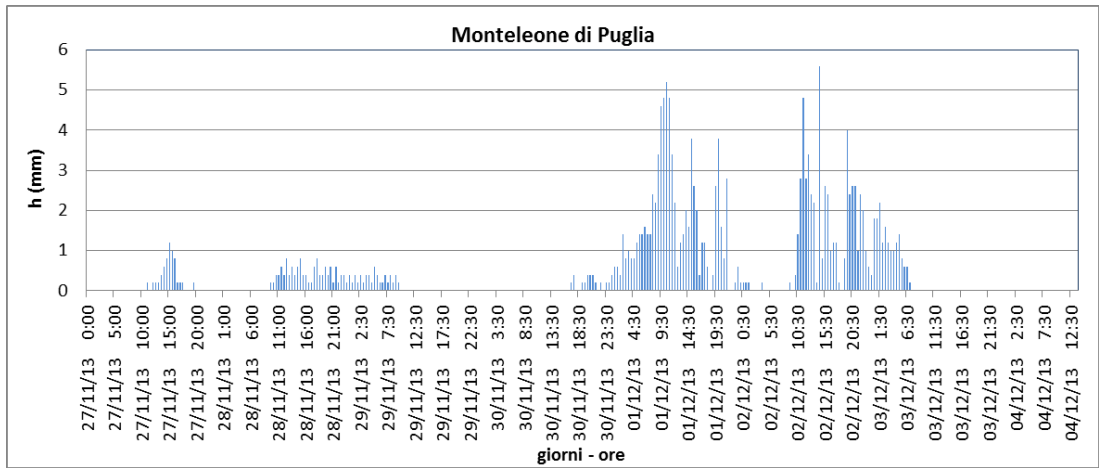
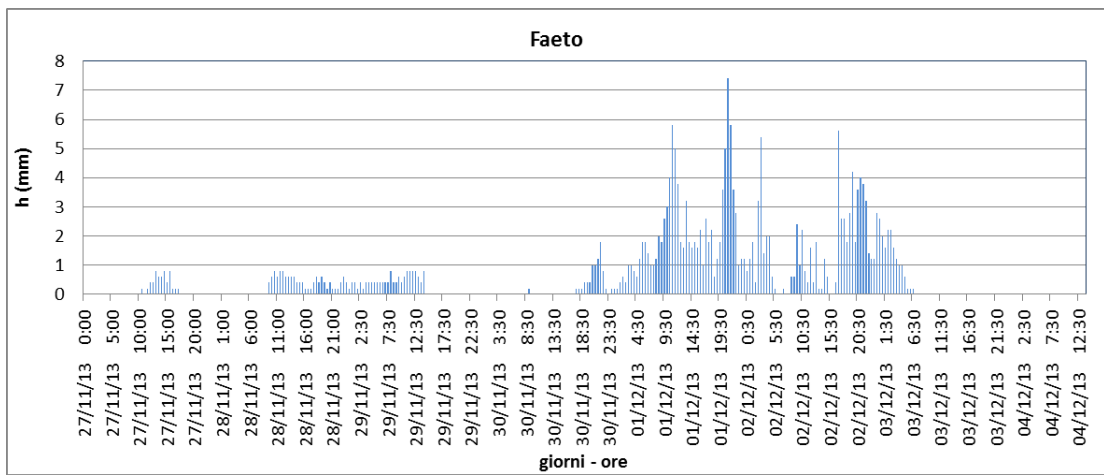
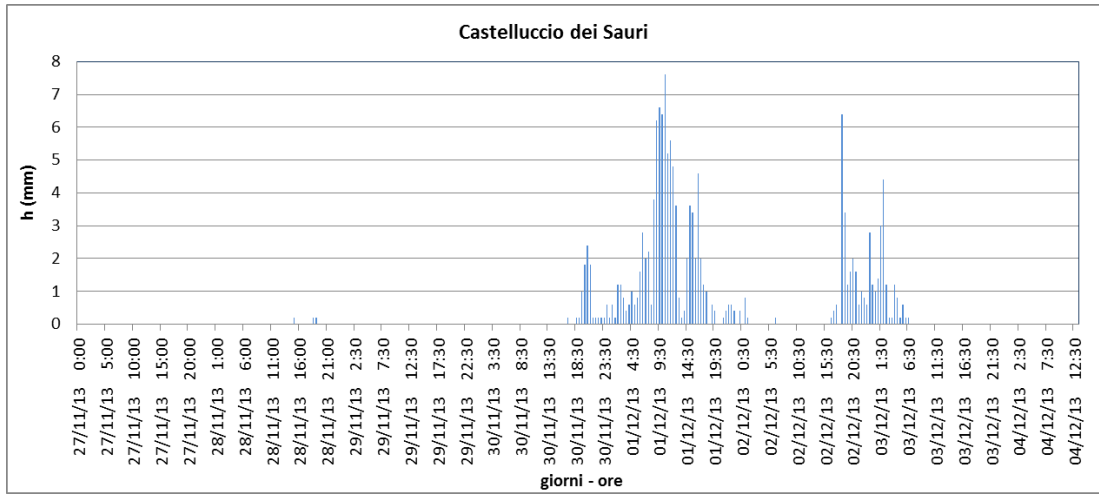


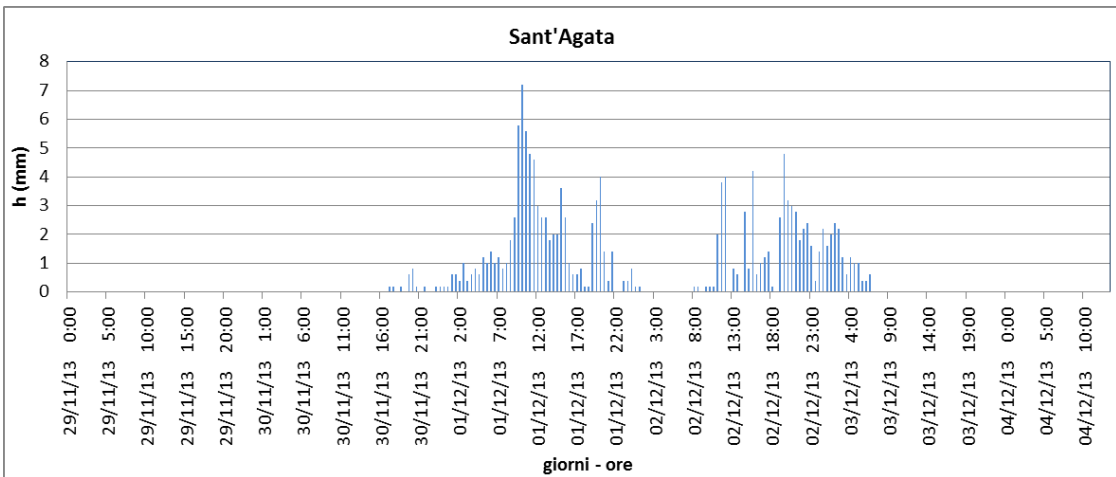
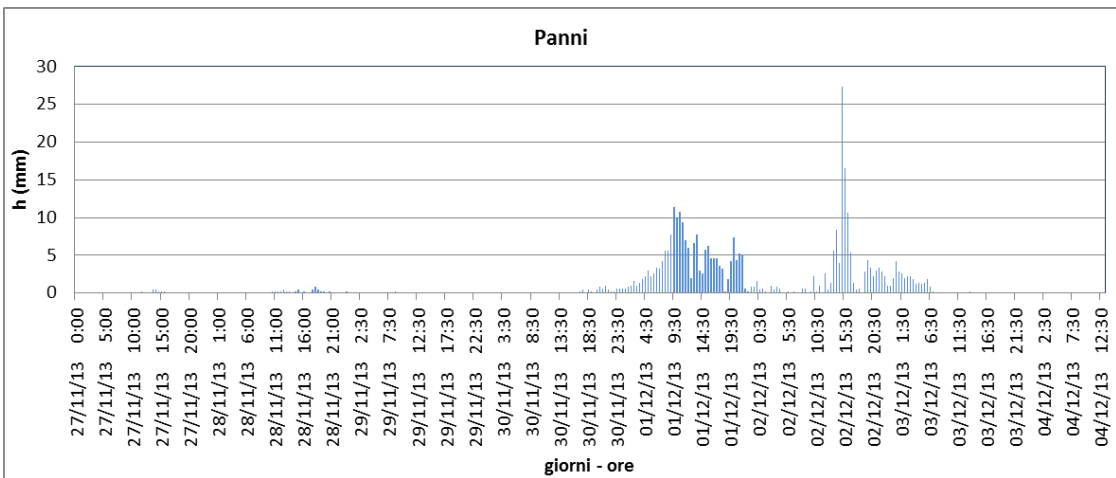
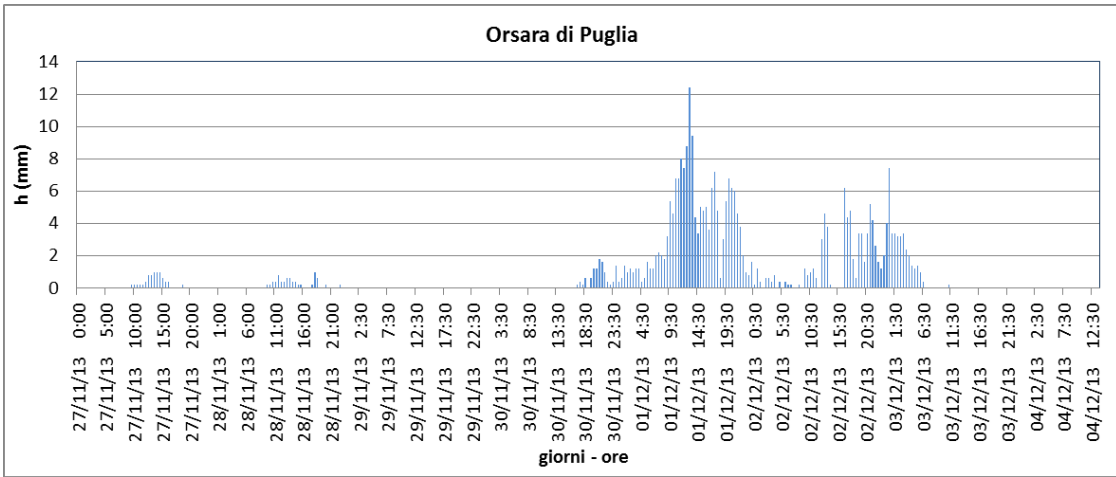
Figura 1.3 – Stazioni pluviometriche del Servizio Idrografico e Mareografico della Puglia e loro aree di competenza sul bacino del torrente Cervaro

Sono state quindi richieste al Centro Funzionale le precipitazioni orarie (che si riportano nelle pagine a seguire), registrate nelle stazioni pluviometriche con competenza sul bacino in esame, tra il 27.11.2013 e il 04.12.2013¹.



¹ solo con riferimento alle stazioni di Anzano di Puglia, Deliceto e Sant'Agata di Puglia le precipitazioni riportate sono riferite all'intervallo temporale compreso tra il 29.11.2013 e il 04.12.2013.





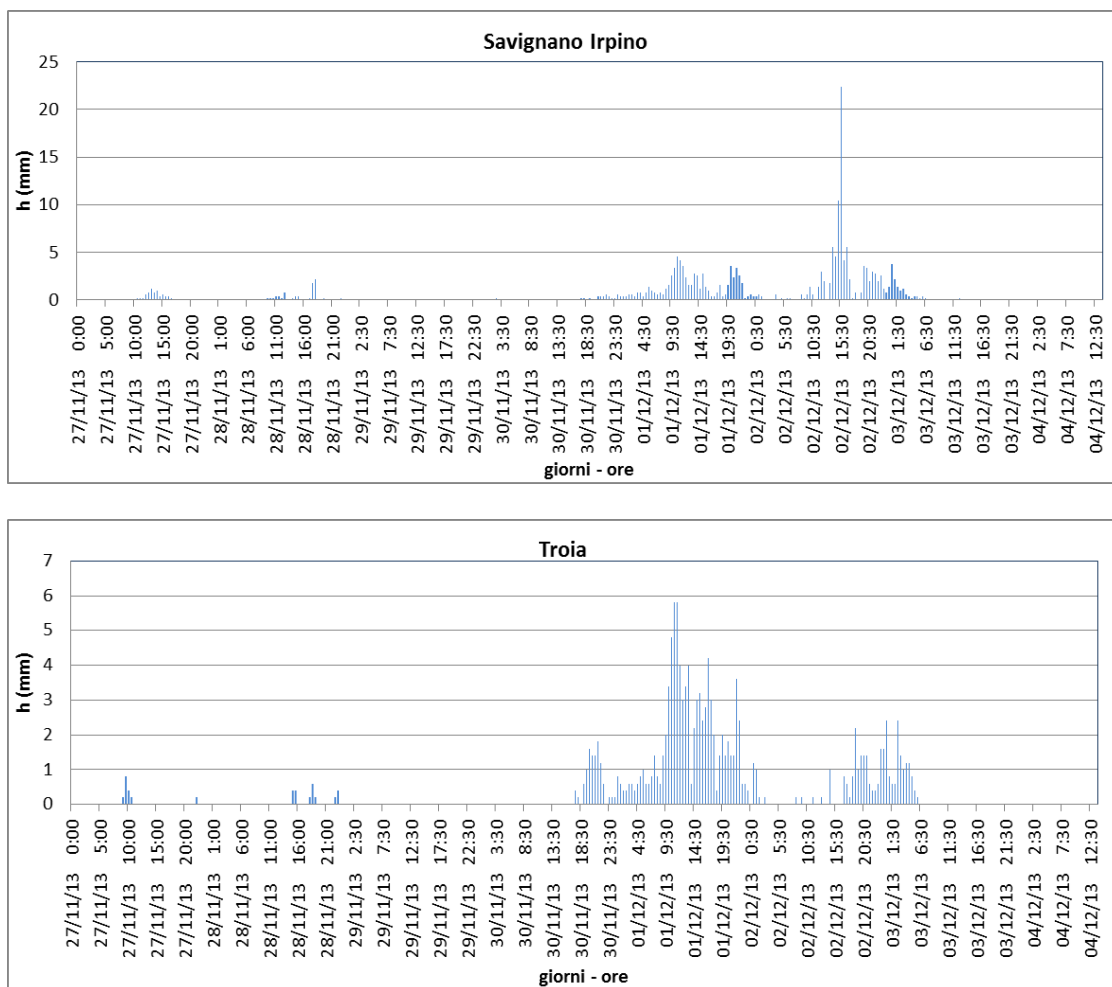


Figura 1.4 – RegISTRAZIONI pluviometriche orarie dal 27 novembre al 4 dicembre 2013, nelle stazioni del Servizio Idrografico e Mareografico della Puglia

Dal confronto tra le massime intensità registrate per l'evento ultimo e i valori storici, si osserva come siano stati superati, per le stazioni di Bovino ed Orsara di Puglia, i massimi storici assoluti, a conferma del carattere di eccezionalità assunto dall'evento pluviometrico.

nome_stazione	durate (ore)	h (mm) max evento	h (mm) max storica	data
Bovino	1	26.8	68.2	1980
	3	52	83.8	1967
	6	84.2	84.2	1967
	12	145.6	89.8	1975
	24	189.6	135.6	2003
Orsara di Puglia	1	23.4	38.6	1969
	3	53.2	63.6	2000
	6	82.8	67.6	2000
	12	142.8	92.8	2003
	24	180.6	148.4	2003

Figura 1.5 - Confronto tra le massime intensità di pioggia registrate durante l'evento e i valori massimi storici [Fonte: Protezione Civile]

Come si osserva dai dati registrati dai pluviometri è possibile distinguere due eventi, il primo verificatosi tra le 16:30 del 30.11.2013 e le 04:30 del 02.12.2013 e il secondo tra le 05.00 del 02.12.2013 e le 10:30 del 03.12.2013, caratterizzati da distribuzioni e picchi differenti; pertanto, ad integrazione del lavoro condotto dalla Protezione Civile, si è scelto di analizzare gli eventi, sia con riferimento all'intero bacino, sia con riferimento all'area del bacino relativa ai pluviometri che hanno registrato i valori maggiori di precipitazione.

La stima dell'eccezionalità degli eventi è stata condotta mediante il confronto tra le curve di possibilità pluviometriche relative al bacino del torrente Cervaro e costruite mediante l'applicazione della metodologia VAPI, con i valori delle massime intensità di precipitazione registrate durante gli eventi del 30 novembre – 3 dicembre 2013.

La prima analisi condotta è riferita all'intero bacino di competenza, avente sezione di chiusura in corrispondenza della S.P.106, e si riporta nel grafico in figura 1.6.

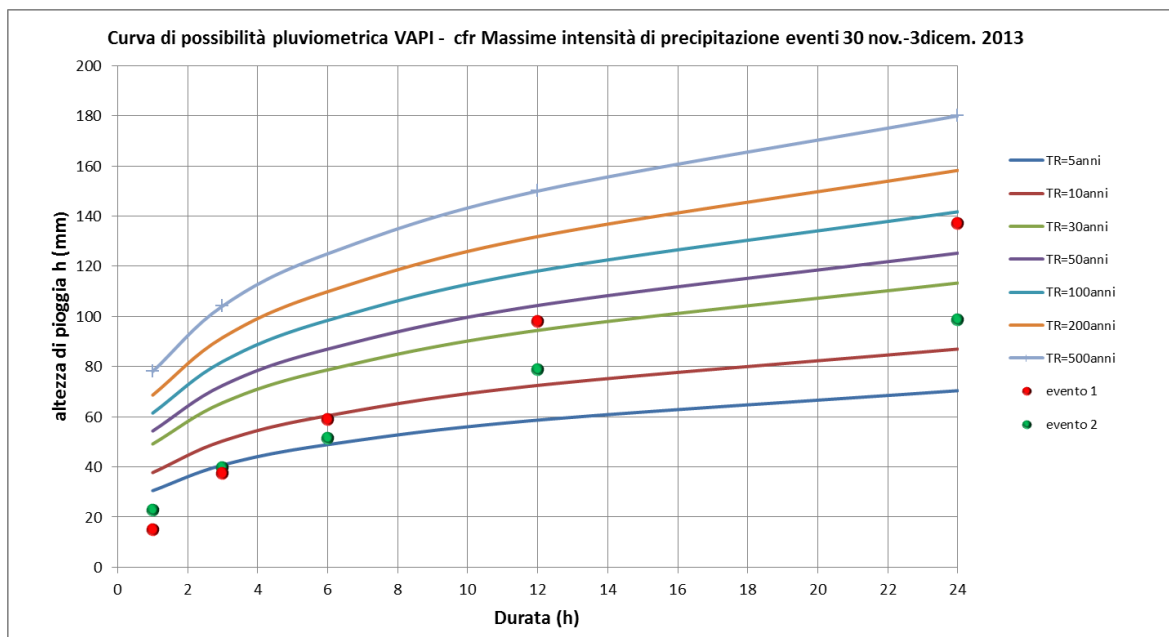


Figura 1.6 - Confronto c.p.p.VAPI e le massime intensità di precipitazione degli eventi del 30 nov-3dic 2013 interessanti il bacino del T.Cervaro a SP106

La seconda analisi è stata condotta con riferimento ai dati pluviometrici relativi alle stazioni di Bovino, Orsara di Puglia e Panni che hanno registrato i massimi valori di precipitazione. Si riporta nel seguente grafico il confronto tra le c.p.p. calcolate con la metodologia VAPI e le massime intensità di precipitazione degli eventi.(figura 1.7).

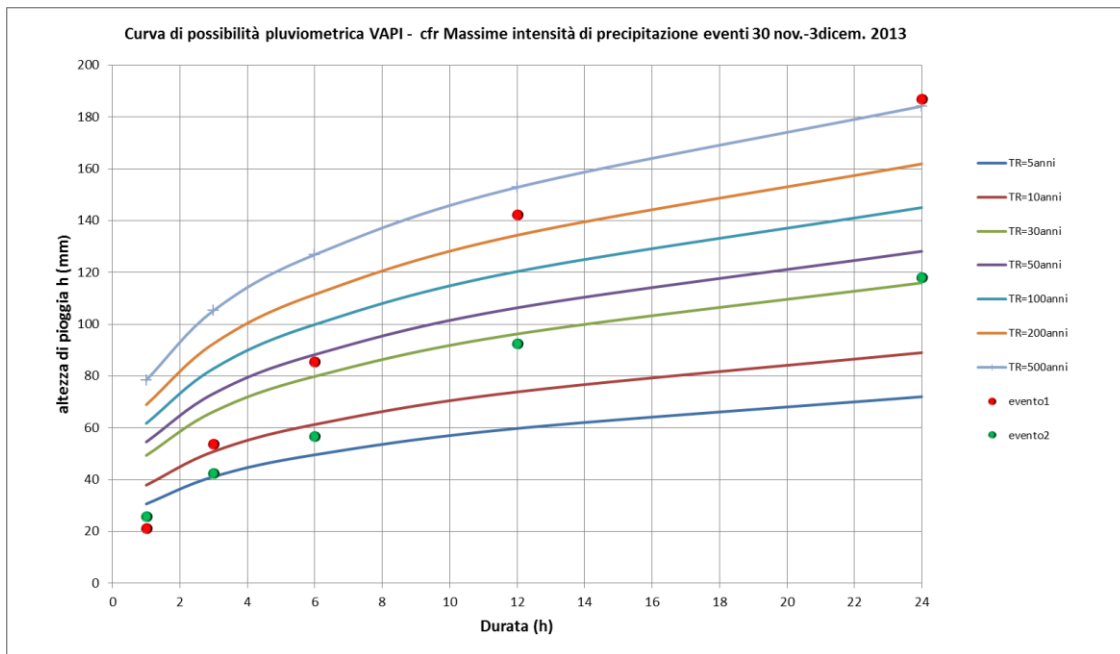


Figura 1.7 - Confronto c.p.p.VAPI e le massime intensità di precipitazione degli eventi del 30 nov-3dic 2013 interessanti il sottobacino del T.Cervaro a SP106

Il bacino del torrente Cervaro è un bacino strumentato, caratterizzato dalla presenza di due stazioni di misura, la prima, di recente installazione (anno 2010) situata in corrispondenza della Strada Provinciale 106 e la seconda, posta a circa 23 km più a valle, in corrispondenza della stazione Incoronata, a valle dell'attraversamento ferroviario Bari-Foggia.

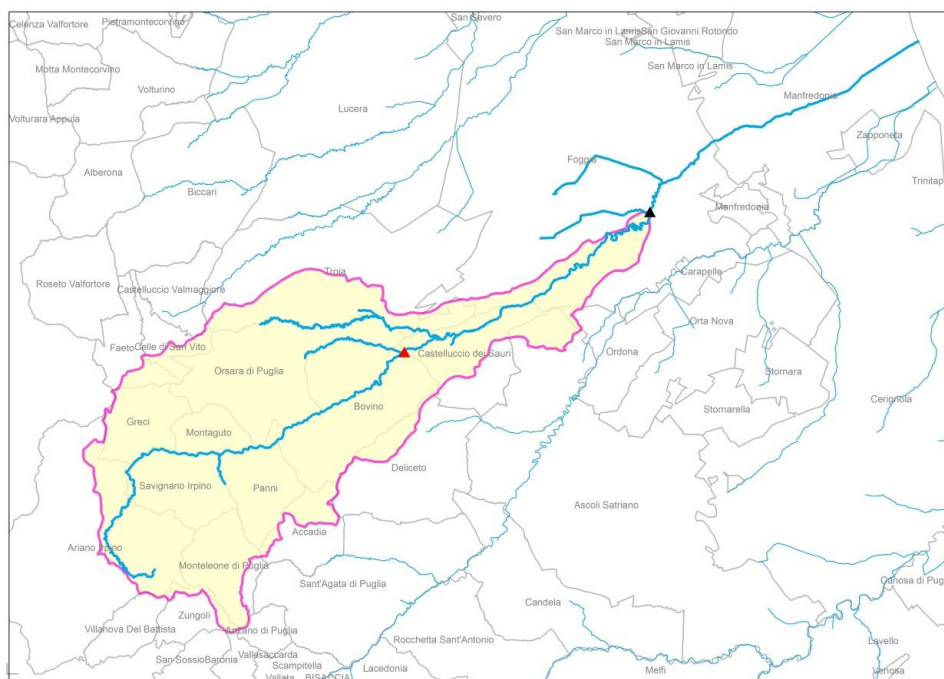


Figura 1.8 - Rappresentazione delle stazioni di misura lungo l'asta del Cervaro, Incoronata (colore nero) e S.P.106 (colore rosso)



Figura 1.9 – Stazione di misura idrometrica Torrente Cervaro S.P.106



Figura 1.10 – Vista del ponte ad Incoronata (sopra)
e della stazione di misura idrometrica (sotto) immediatamente a valle del ponte

In figura 1.11 si riportano i massimi livelli idrometrici registrati durante l'evento in esame.

Corso d'acqua/affluenti	Idrometro	Massimo Livello idrometrico registrato durante l'evento (m)	Livello massimo storico registrato (m)	Soglia di criticità ordinaria	Soglia di criticità moderata	Soglia di criticità elevata
Fortore	Ponte Fortore	3.84	3.45 (06/03/2011)	$1.5 \leq h < 2.5$	$2.5 \leq h < 3.0$	$h \geq 3.0$
Fortore	SP 46	2.9	2.01 (15/03/2011)	$1.5 \leq h < 2.0$	$2.0 \leq h < 2.5$	$h \geq 2.5$
Fortore	SP 142	8.35	5.18 (23/01/2011)	$4.0 \leq h < 5.0$	$5.0 \leq h < 6.0$	$h \geq 6.0$
Fortore	Colle arena	4.67	5.66 (06/03/2011)	$2.5 \leq h < 3.0$	$3.0 \leq h < 3.5$	$h \geq 3.5$
Candelaro	SS 272	3.9	3.57 (19/12/2012)		3	
Candelaro	Ex 13 Luci	3.57	4.14 (06/03/2011)		2.5	
Triolo	P.te Lucera Torremaggiore	3.50	3.86 (22/02/1986)	1.7	$2.5 \leq h < 3.3$	$h \geq 3.3$
Celone	San Vincenzo	3.0	4.04 (21/04/2011)	1.7	$2.5 \leq h < 3.3$	$h \geq 3.3$
Vulgano	P.te- Lucera-Troia	2.69	4.64 (11/12/2005)	0.7	$2.5 \leq h < 4.1$	$h \geq 4.1$
Cervaro	SP 106	2.52	0.54 (22/02/2012)		2.5	
Cervaro	Incoronata	7.33	5.90 (05/03/2011)	3.9	$5.2 \leq h < 5.7$	$h \geq 5.7$
Carapelle	SR 01	3.59	2.83 (18/02/2011)		1.4	
Carapelle	Ponte Ortona	3.32	3.22 (19/02/2011)	1.8	$3.0 \leq h < 3.9$	$h \geq 3.9$
Ofanto	Monteverde	3.18	4.28 (09/12/1989)	1.6	$3.3 \leq h < 4.0$	$h \geq 4.0$
Ofanto	Gaudiano	5.24	5.14 (19/02/2012)		2.5	
Ofanto	S. Samuele	5.81	5.34 (19/02/2011)	3.9	$4.9 \leq h < 5.2$	$h \geq 5.2$
Lato		3.68	3.26 (08/10/2013)	2		

Figura 1.11 - Livelli idrometrici massimi disponibili registrati dalla rete di telemisura della Regione Puglia [Fonte: Protezione Civile]

La prima stazione di misura è sita in prossimità delle aree interessate dagli eventi alluvionali. Considerata la recente installazione della stessa, le registrazioni disponibili sono piuttosto brevi, pertanto, il loro utilizzo per fini tecnico-scientifici, per le elaborazioni statistiche e la costruzione di una scala di deflusso delle portate, appare poco significativo.

Con riferimento all'evento del 30 novembre - 3 dicembre 2013, è stato registrato un livello idrometrico massimo pari a 2.52 m, di gran lunga superiore a quello storico conosciuto di 0.54 m. Con l'aiuto di valutazioni indirette, mediante l'applicazione di consolidati modelli numerici in condizioni di moto permanente, alla misura di 2.52 m può assegnarsi un valore di portata al colmo della piena dell'ordine dei 750 m³/s. Si riporta a seguire (figura 1.12) l'andamento temporale dei livelli idrometrici osservati durante l'evento di piena.

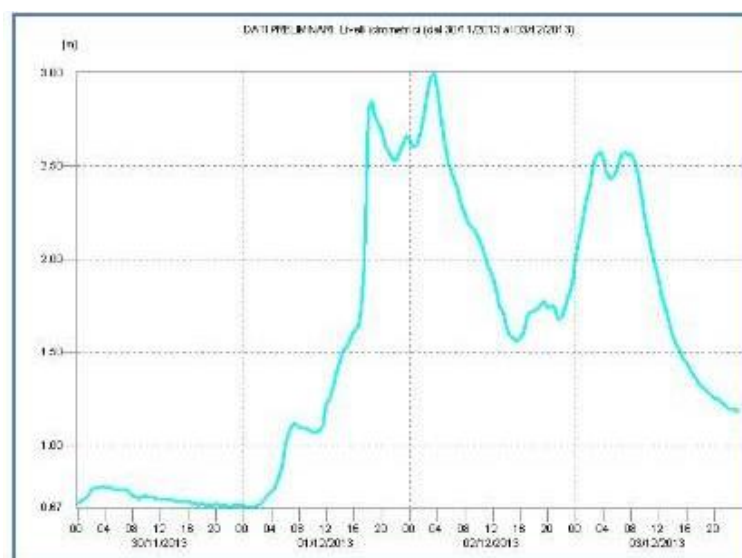


Figura 1.12 – Andamento livelli idrometrici registrati in corrispondenza della stazione di misura Torrente Cervaro S.P.106 [Fonte: Protezione Civile]

Dall'analisi del grafo dell'idrometro (figura 1.12) e delle registrazioni pluviometriche (figura 1.13) è possibile individuare due distinti eventi di piena, con tempo di ritardo pari a circa 12 ore. Tale informazione è utile se confrontata, con le dovute considerazioni, al tempo di ritardo ottenuto con la formulazione del VAPI per bacini pugliesi ($Tr=0.344A^{0.5}$), pari a circa 6 ore.

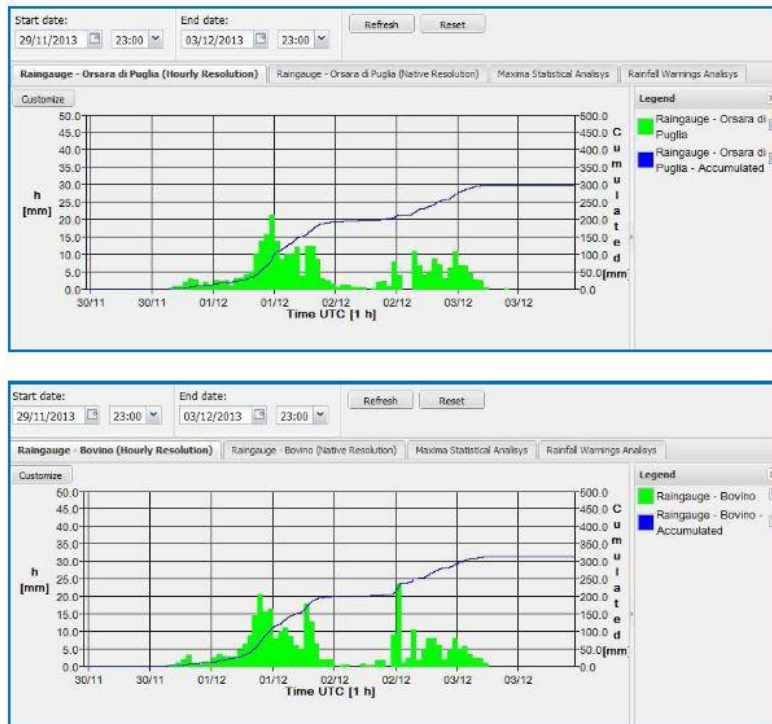


Figura 1.13 -Ietogrammi di pioggia delle stazioni pluviometriche di Bovino (sopra) e Orsara di Puglia (sotto), in cui si sono verificate le altezze di precipitazione massime durante l'evento del 30 novembre - 3 dicembre [Fonte: Protezione Civile]

La stazione Cervaro ad Inconronata, invece, è distante rispetto al sito di interesse, tuttavia può fornire indicazioni utili per la valutazione della risposta idrologica del bacino, nella considerazione che a monte di asse si verificano significative esondazioni del torrente Cervaro. Il valore registrato in corrispondenza dell'evento del 30 novembre - 3 dicembre 2013 è pari a 7.33 m significativamente maggiore del massimo storico conosciuto di 5.90 m. Si riporta nell'immagine seguente (fig. 1.14) la scala di deflusso registrata per la stazione di Inconronata.

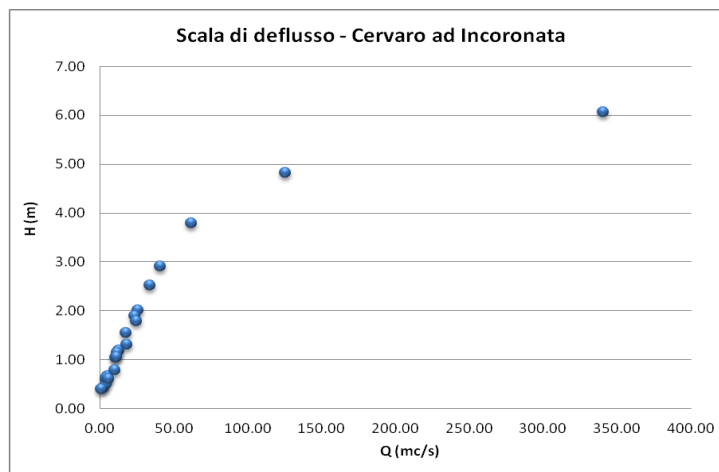


Figura 1.14 – Scala di deflusso della stazione di Inconronata [Fonte: Protezione Civile]

1.2.2 Gli effetti al suolo

L'evento alluvionale del 30 novembre – 3 dicembre 2013 ha determinato allagamenti in ambito urbano ed extraurbano, frane e smottamenti, con seri danni alle infrastrutture idrauliche e alla viabilità. I maggiori disagi si sono verificati nei territori comunali di Orsara di Puglia e Bovino, ove si è resa necessaria l'interruzione del traffico sulla linea ferroviaria Foggia-Benevento.

A seguito di tali eventi, la Protezione Civile ha richiesto la dichiarazione dello "stato emergenza" ai sensi dell'art.5, comma 1, della l. 225/1992, formulata con Deliberazione della giunta regionale della Puglia n° 2410 del 10.12.2013.

Si riporta una sintesi delle informazioni, testimonianze e fotografie rinvenienti dalle ricognizioni e sopralluoghi eseguiti da questa Autorità nelle aree interessate dagli eventi di piena.

- **Comune di Bovino:** in prossimità del Torrente Cervaro nella località "Ponte di Bovino" si è osservata un'ampia zona di allagamento in sinistra idraulica al Torrente Cervaro causata dall'esondazione del torrente subito a monte del Ponte di Bovino con coinvolgimento dell'attiguo rilevato ferroviario. Si ipotizza che tale esondazione sia stata favorita da una parziale occlusione delle luci del ponte a causa dell'accumulo in alveo di materiale vegetale di notevole dimensione (tronchi, rami, ecc.). Si è resa necessaria l'interruzione del traffico sulla linea ferroviaria Foggia-Benevento.



Figura 1.15 - Vista dell'attraversamento Ponte di Bovino lungo il T. Cervaro e delle aree contigue, in località Bovino, nelle ore successive all'evento

- **Comune di Castelluccio dei Sauri:** in prossimità del Torrente Cervaro nella località "*La Verità*" si è osservata una zona di allagamento in sinistra idraulica al Torrente Cervaro, dovuta all'erosione della ripa spondale.



Figura 1.16 - Vista area di allagamento in sinistra idraulica al torrente Cervaro

- **Comune di Foggia:** in prossimità del Torrente Cervaro nella località "*Ponte Cervaro*" si è osservata un'ampia zona di erosione lungo la ripa spondale destra del Torrente Cervaro.



Figura 1.17 - Vista della zona in erosione lungo la ripa spondale del Cervaro

- **Comune di Foggia:** in prossimità del Torrente Cervaro, nella località "*La Convegna*" si è osservata un'ampia zona di allagamento in sinistra idraulica al Torrente Cervaro causata dalla rottura arginale di circa 200 metri in corrispondenza del meandro subito a valle della linea ferroviaria Foggia-Benevento. Più a valle, poco prima dell'intersezione con la S.S. 16, parte del deflusso di piena, ha provocato la rottura dell'argine sinistro, con conseguente rientro all'interno dell'alveo; parte dei deflussi ha interessato un tratto della S.S. 16 in direzione Bari e la zona A.S.I..



Figura 1.18 - Vista della rottura arginale lungo il T. Cervaro con interessamento della SS16

- **Comune di Foggia:** in prossimità del Canale Ruanella, nella zona A.S.I. si è osservata una zona di allagamento in sinistra idraulica, con interessamento della Stazione ferroviaria Incoronata; esondazioni anche lungo il Torrente Cervaro e riduzione del franco idraulico in prossimità dell'attraversamento ferroviario a monte della stazione di misura Cervaro ad Incoronata.



Figura 1.19 - Vista degli allagamenti in zona A.S.I.

1.3 I CORSI D'ACQUA RICADENTI NEL BACINO DEL TORRENTE CERVARO

Nei paragrafi a seguire viene riportata l'analisi qualitativa e quantitativa del bacino del Cervaro chiuso alla stazione di misura SP106 e confrontato con l'intero bacino chiuso a mare, con l'obiettivo di evidenziare i caratteri di omogeneità del territorio nei confronti della generazione dei deflussi. Il regime idraulico del corso d'acqua principale è di tipo torrentizio, caratterizzato da portate modeste nella maggior parte dell'anno, occasionali e rovinose piene nelle stagioni più piovose ed estreme magre estive.

1.3.1 Analisi qualitativa

Il bacino idrografico del Torrente Cervaro attraversa il Tavoliere di Puglia, una vasta pianura alluvionale che si estende nella Puglia settentrionale tra il Promontorio del Gargano e l'Altopiano delle Murge. Dal punto di vista strettamente geologico, il Tavoliere di Puglia corrisponde alla parte settentrionale dell'Avanfossa adriatica meridionale, nota in letteratura anche come Fossa Bradanica.

La costituzione geolitologica del Tavoliere è dunque fortemente connessa con l'evoluzione geologica dell'Appennino, che ha indotto l'avanfossa ad assumere una connotazione via via diversa da fossa tettonica a bacino sedimentario, dapprima caratterizzato da un ambiente marino e successivamente di tipo continentale alluvionale. Le diverse unità stratigrafiche affioranti nel bacino del Torrente Cervaro possono associarsi a due categorie: le formazioni appartenenti alle coltri appenniniche e le unità litologiche tipiche della piana alluvionale del Tavoliere [Bogliani G. et al., 2010].

La porzione sud-occidentale del bacino idrografico è caratterizzata dall'affioramento di associazioni litologiche in *facies di flysch*, con una prevalente componente argillosa e marnosa e da litotipi sabbioso-conglomeratici e molasse di età compresa tra il Cretaceo sup. ed il Pliocene medio.

La porzione più ampia del bacino, nei settori centrale e orientale, è invece costituita da termini litologici appartenenti ad una successione sedimentaria di riempimento della Fossa Bradanica costituita da depositi marini ed alluvionali di età Plio-Pleistocenica.

Verso la costa si individuano invece, i depositi palustri e di colmata di età olocenica, costituiti essenzialmente da limi, circoscritti alla fascia costiera interna compresa tra Manfredonia e Zapponata, corrispondente ad antiche paludi successivamente colmate per motivi naturali ed antropiche [Caldara e Pennetta, 1993]. Il quadro stratigrafico si completa con i depositi delle spiagge attuali costituiti da sabbie e ghiaie.

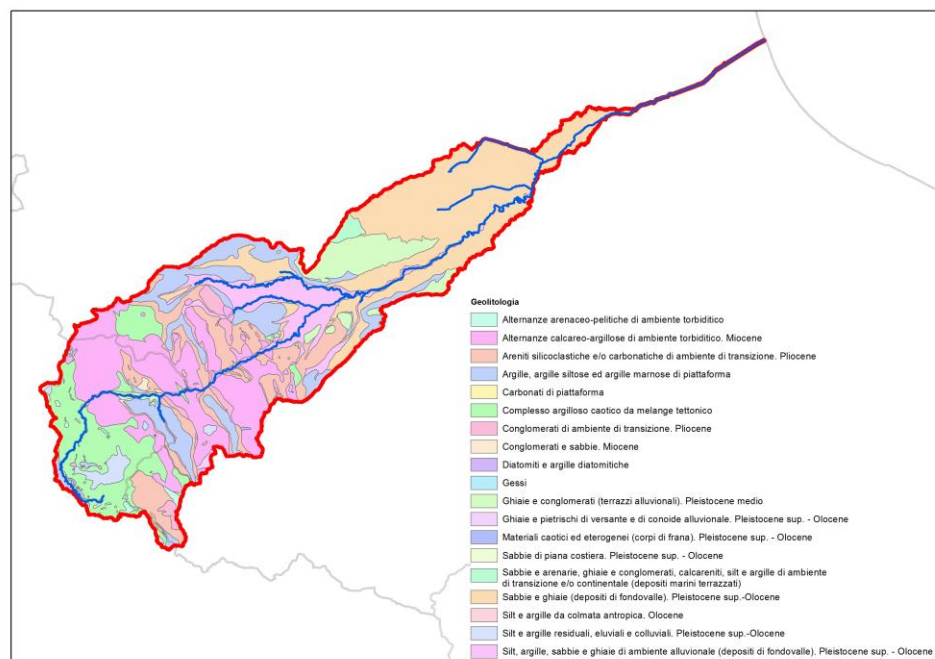


Figura 1.20 –Bacino idrografico torrente Cervaro, carta geolitologica

Dal punto di vista topografico, nel bacino del torrente Cervaro si evidenziano tre fasce altimetriche: (i) **la zona dei monti dauni** caratterizzata da versanti acclivi ed alture che raggiungono i

1000 m s.l.m., (ii) **la zona pedemontana** che rappresenta la fascia di raccordo tra i rilievi appenninici e la piana alluvionale, con quote altimetriche comprese tra i 100 e i 300 m s.l.m., (iii) **la piana alluvionale** che presenta un assetto pianeggiante con pendenze molto basse.

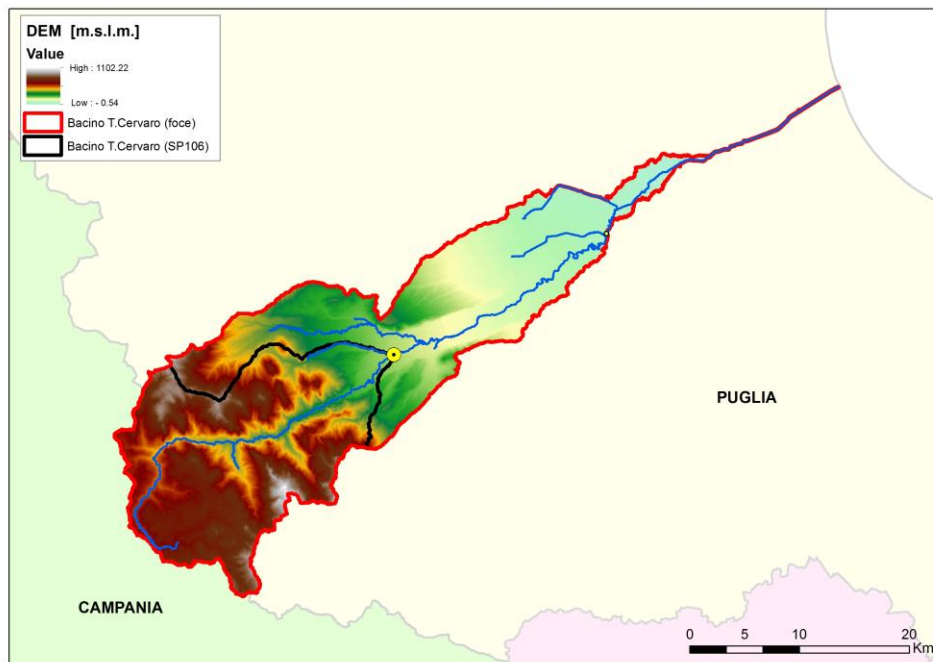


Figura 1.21 –Bacino idrografico torrente Cervaro, Modello digitale del Terreno

Il corso d'acqua assume una morfologia differente al variare delle fasce altimetriche e delle pendenze del fondo alveo. Nella zona montana si presenta abbastanza incassato nella roccia, con scarpate ben definite e versanti acclivi; nel corso d'acqua principale confluiscono numerosi impluvi minori che scendono dai versanti. Nella zona pedemontana le sezioni dell'alveo si allargano ricevendo importanti contributi dagli affluenti. Nella piana alluvionale il corso d'acqua ha un andamento meandriforme, mentre il tratto di foce si presenta interamente canalizzato tra argini artificiali

In merito alle attività e all'uso del suolo delle aree afferenti al bacino idrografico si osserva il prevalere dei seminativi di tipo irriguo e non irriguo e dei boschi di latifoglie, con aree minori interessate da cespuglieti, arbusteti ed aree a pascolo naturale.

In virtù delle differenze altitudinali presenti nel bacino, il clima è alquanto diversificato e condizionato dalla catena appenninica, dalla pianura del Tavoliere e dal mare Adriatico. Il periodo invernale è abbastanza rigido e prolungato con precipitazioni anche torrentizie, l'estate è mite e secca caratterizzata da precipitazioni scarse.

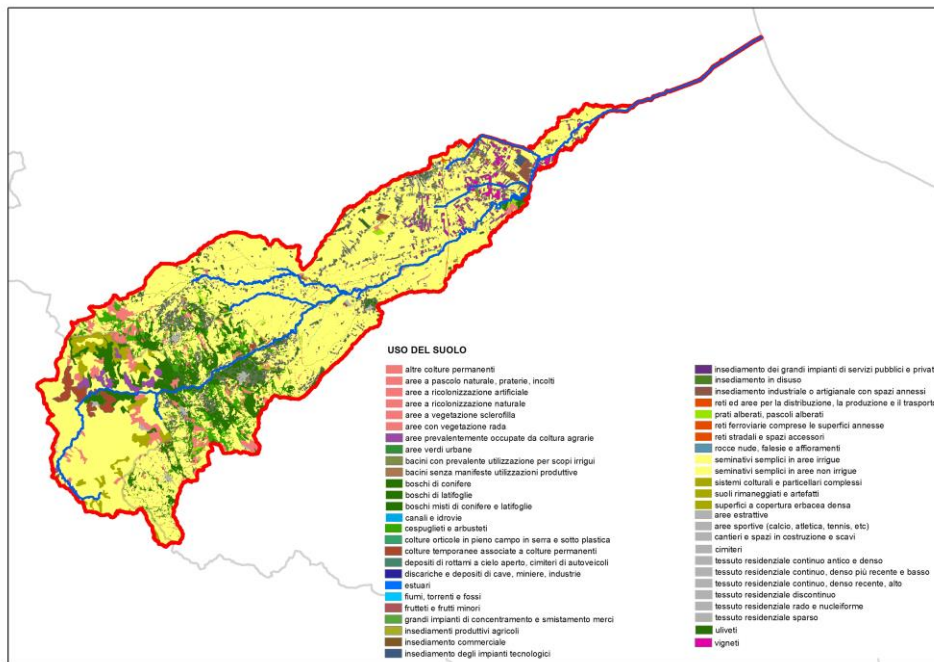


Figura 1.22 –Bacino idrografico torrente Cervaro, Uso del suolo

1.3.2 Analisi quantitativa

Dal punto di vista litologico (v. tab. 1.3) la formazione geologica predominante nel bacino del Cervaro chiuso a foce è rappresentata dalle sabbie e ghiaie di ambiente alluvionale (26%), tipica delle aree pianeggianti. La porosità primaria di tale unità è elevata per la presenza di depositi a granulometria grossolana sabbie e ghiaie sebbene localmente, a causa del terrazzamento e della cementazione, la porosità primaria può decrescere significativamente. La porosità secondaria è ininfluente perché tali depositi sono tettonicamente indisturbati.

Vi è poi una buona percentuale di Alternanze calcareo-argillose di ambiente torbiditico. Miocene (18%) alla quale appartengono i *fisch* esterni dell'Appennino meridionale costituiti da alternanze calcareo-argillose. L'eterogeneità litologica di questa unità fa sì che la porosità primaria sia medio/elevata nelle intercalazioni calcaree, mentre è irrilevante nelle intercalazioni argillose; la porosità secondaria è anch'essa variabile e tende ad aumentare in prossimità delle principali discontinuità tettoniche a causa del maggior grado di fratturazione dell'ammasso roccioso e, subordinatamente, per alterazione carsica delle intercalazioni calcaree. Poiché questa unità geolitologica affiora unicamente in aree montuose, i versanti possono avere inclinazioni elevate, soprattutto in prossimità delle scarpate di origine tettonica.

Si attestano intorno all'11% le unità litologiche rappresentate da argille, argille siltose ed argille marnose di piattaforma, dal complesso argilloso caotico da melange tettonico e dalle areniti silicoclastiche e/o carbonatiche.

Con riferimento al bacino avente sezione di chiusura alla SP106, che si sviluppa prevalentemente nella zona dei monti dauni, si osserva una sensibile riduzione della percentuale delle sabbie e ghiaie di ambiente alluvionale (1,58%), tipiche delle aree pianeggianti. Risultano invece predominanti le alternanze calcareo-argillose di ambiente torbiditico (34%); le altre unità prevalenti si attestano intorno al 11-19% (complesso argilloso caotico da melange tettonico, areniti silicoclastiche e/o carbonatiche, argille, argille siltose ed argille marnose di piattaforma).

Tabella 1.3 – Analisi quantitativa relativa alle Formazioni geologiche prevalenti

		Sabbie e ghiaie (depositi di fondovalle)	Alternanze calcareo-argillose di ambiente torbiditico	Argille, argille siltose ed argille marnose di piattaforma	Complesso argilloso caotico da melange tettonico	Areniti silicoclastiche e/o carbonatiche di ambiente di transizione
Torrente Cervaro (foce)	%	26,48	18,68	11,94	11,40	11,19
Torrente Cervaro (SP106)	%	1,58	34,41	11,09	19,60	17,79

Per quanto riguarda l'uso del suolo, sia considerando il bacino chiuso a foce, che quello più piccolo chiuso alla SP106 si osserva che più del 50% del territorio è adibito alle colture seminative di tipo irriguo e non irriguo (tab. 1.4). Predominano anche i boschi di latifoglie, con una percentuale maggiore nel bacino montano (15%), mentre si attestano tra il 4% e il 6% le aree destinate ai cespugliete e al pascolo naturale. Il territorio è scarsamente interessato dalla presenza urbana (poco più dell'1%).

Tabella 1.4 – Analisi quantitativa relativa alle classi di uso del suolo prevalenti

		Seminativi	Boschi di latifoglie	Cespuglieti ed arbusteri	Aree a pascolo naturale, praterie, incolti	Urbano e industriale
Torrente Cervaro (foce)	%	67,80	8,03	3,99	3,88	1,30
Torrente Cervaro (SP106)	%	56,19	14,62	5,76	4,91	0,75

Tabella 1.5 – Parametri morfometrici

Superficie del bacino [km ²]	<i>A</i>
Perimetro del bacino [km]	<i>P</i>
Dimensione frattale [-]	<i>D</i>
Lunghezza dell'asta principale [km]	<i>L</i>
Pendenza media dell'asta principale [m/m]	<i>i_m</i>
Pendenza media dei versanti [m/m]	<i>i_v</i>
Lunghezza del vettore di orientamento [km] Il vettore di orientamento è il segmento che unisce il baricentro del bacino con la sua sezione di chiusura	$L_v = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$
Quota media del bacino [m. s.l.m.]	<i>Z_{mean}</i>
Tempo di ritardo [ore]	<i>t_L</i>
Tempo di corrivazione [ore]	<i>t_c</i>

Rapporto di circolarità [-] E' il rapporto tra l'area del bacino e quella del cerchio avente lo stesso perimetro del bacino. Più il bacino presenta una forma circolare più il valore di tale rapporto è prossimo ad 1	$R_C = \frac{4\pi A}{P^2}$
Rapporto di allungamento [-] E' il rapporto tra il diametro del cerchio di area uguale a quella del bacino e la lunghezza dell'asta principale del bacino	$R_{AL} = \frac{2\sqrt{\frac{A}{\pi}}}{L}$
Coefficiente di compattezza [-] E' il rapporto tra il perimetro del bacino e il diametro del cerchio avente la stessa area del bacino	$C_{COMP} = \frac{P}{2\sqrt{\frac{A}{\pi}}}$
Fattore di forma di Horton [-] E' il rapporto tra l'area del bacino e il quadrato della lunghezza dell'asta principale del bacino	$R_K = \frac{A}{L^2}$
Rapporto delle lunghezze [-] E' il rapporto tra la lunghezza del vettore orientamento e la lunghezza dell'asta principale del bacino	$R_L = \frac{L_v}{L}$

Si esaminano invece ora, con riferimento all'area di analisi, i valori di alcuni parametri classici di carattere morfometrico, abitualmente adoperati in linea tecnica per classificare il comportamento dei bacini dal punto di vista idrografico e idrologico in termini di generazione di eventi estremi. A questo proposito con riferimento ai parametri indicati in tabella 1.5, utilizzando le ormai usuali procedure di calcolo basate su tecniche GIS, è stato possibile predisporre la tabella 1.6, nella quale sono riportati i valori medi di tali parametri. Di particolare interesse risultano i parametri quali la dimensione frattale, la pendenza e i rapporti hortoniani, che determinano la risposta idrologica del bacino idrografico.

Tabella 1.6 – Valori medi dei parametri della tabella 1.5 per i bacini di analisi

MEDIA	Cervaro alla SP106	Cervaro a foce
A [km ²]	332.26	666.14
P [km]	102.96	217.42
D [-]	1.119	1.109
L [km]	59.86	122.2
i _m [m/m]	0.015	0.009
i _v [m/m]	0.201	0.128
L _v [km]	16.12	52.19
Z _{mean} [m]	606.5	411.71
t _L [h]	6.27	8.88
t _C [h]	10.45	14.80
R _c [-]	0.39	0.18
R _{AL} [-]	0.34	0.24
C _{COMP} [-]	5.01	7.47
R _K [-]	0.09	0.04
R _L [-]	0.27	0.43

Un valido supporto all'analisi svolta è offerto dalle curve ipsometriche dei bacini esaminati. In figura 1.23, per rendere tra di loro confrontabili le curve, queste sono state tracciate in termini adimensionali (avendo riferito quote e superfici rispettivamente al valore massimo e all'area sottesa alla sezioni di chiusura). E' dunque riportata in ordinata la quota della fascia altimetrica h_i rapportata al valore massimo h_{max} ed in ascissa la superficie A_i posta a quota maggiore o eguale ad h_i rapportata alla superficie dell'intero bacino A_{max} . Le curve ipsometriche riferite ai due bacini risultano pressochè coincidenti sino a quando il rapporto A_i/A , assume un valore di circa 0.3; superato tale valore la curva del bacino Cervaro alla SP106 segue un andamento assimilabile al lineare, discostandosi da quella del bacino chiuso a mare.

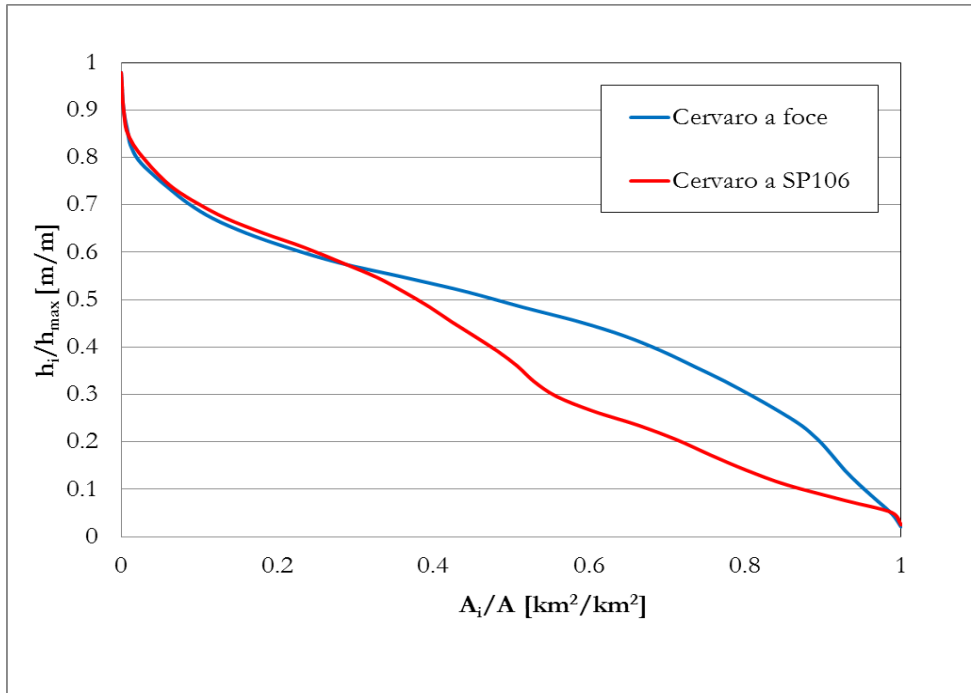


Figura 1.23 - Curve ipsometriche relative ai bacini di studio

1.4 LE STAZIONI PLUVIOMETRICHE

In questo paragrafo si vuole dare puntuale rappresentazione delle stazioni pluviometriche presenti sul territorio che possono andare ad integrare quelle del Servizio Idrografico e Mareografico della Regione Puglia, al fine di incrementare il quadro conoscitivo utile agli studi idrologico-idraulici.

Nell'allegato 1.3.1 sono quindi cartografate, ed elencate nell'allegato 1.3.2, le stazioni pluviometriche oggetto di ricognizione, aggiornate al 2014, appartenenti alla Struttura di Monitoraggio Meteorologico del Centro Funzionale Regionale (già Ufficio Idrografico e Mareografico), con i relativi topoi di competenza e le stazioni della rete Assocodipuglia, di seguito illustrate.

1.4.1 La rete della SMM-CFR Puglia

Si riporta di seguito, per esautività, quanto pubblicato sul sito della Protezione Civile Regionale, relativamente al 'Centro Funzionale Regionale e Struttura di Monitoraggio Meteorologico'.

La Struttura di Monitoraggio Meteorologico del Centro Funzionale Regionale (già Ufficio Idrografico e Mareografico) svolge le attività "storiche" di rilevamento, validazione, archiviazione e pubblicazione delle grandezze climatiche, idrologiche ed idrografiche interessanti il reticolo idrografico superficiale e sotterraneo tra il bacino del torrente Candellaro e quello del fiume Lato, compreso il bacino interregionale del fiume Ofanto. Tali attività sono fonte di dati indispensabili per la conoscenza dei fenomeni naturali di carattere meteorologico ed idrologico che sono supporto imprescindibile per la progettazione delle opere idrauliche di utilizzazione delle risorse idriche e di difesa dai rischi indotti dagli eventi estremi.

La Struttura, istituita sin dal 1917 come Sezione autonoma del Genio Civile, è stata trasferita alla Regione Puglia a seguito del D.P.C.M. 24.07.2002 ed è incorporata nel Servizio Protezione Civile con le competenze di cui agli artt. 22 e 23 del DPR 24.01.1991, n.85.

Le attività si possono sintetizzare nello studio, rilevamento e analisi dei fenomeni fisici e nella conservazione, pubblicazione e divulgazione dei dati e delle informazioni di carattere meteo-climatico, idrologico e idraulico. La Struttura ha provveduto a dare massima diffusione ai dati rilevati dalle stazioni di monitoraggio con la pubblicazione degli Annali Idrologici e tramite il sito del Servizio.

La struttura degli Annali, modificata nel corso degli anni, si presenta articolata su due fascicoli (parte prima e parte seconda). Nel primo sono trattate la termometria, la pluviometria e la meteorologia e sono contenuti i seguenti elementi:

- a) Termometria: Massime e minime temperature giornaliere e valori medi estremi delle temperature mensili;*
- b) Pluviometria: Totali giornalieri – totali mensili e annui - precipitazioni massime di 1, 3, 6, 12 e 24 ore consecutive - massime precipitazioni dell'anno per periodi di più giorni consecutivi - precipitazioni di notevole intensità e breve durata e manto nevoso (elaborato e pubblicato sino all'anno 2000);*
- c) Meteorologia: Pressione atmosferica - umidità relativa e vento al suolo.*

Nel secondo, sono trattati i corsi d'acqua ed ai relativi bacini e sono contenuti i seguenti dati e tabelle: afflussi meteorici su alcuni bacini - altezze idrometriche giornaliere - portate e bilanci idrologici - osservazioni freaticometriche - trasporto torbido - indagini, studi idrologici, ed eventi di carattere eccezionale (in questo capitolo conclusivo vengono descritti, qualora si verificano, i fenomeni eccezionali come alluvioni o lunghi periodi di siccità). Alcuni Annali Idrologici hanno, in allegato, elaborazioni cartografiche relative alle isoiete e/o alle isoterme, osservate nel corso dell'anno.

La Struttura ha avviato un processo di armonizzazione e potenziamento del sistema di rilevamento dei dati meteorologici con strumentazioni elettroniche in telemisura in pregio ai principi di economicità efficienza ed efficacia. Nelle more della stampa degli Annali Idrologici successivi all'anno 1996, si ritiene utile promuovere sul portale web la diffusione dei seguenti dati:

- a) Annali Idrologici – parte prima, per gli anni dal 1997 al 2009;*
- b) Valori termo-pluviometrici storici medi ed estremi;*
- c) Elaborazioni grafiche rilevate presso alcune stazioni.*

Gli Annali Idrologici, pubblicati dall'Ufficio di Bari, dal 1921 al 1996, per il territorio di propria competenza, sono consultabili presso la sede della Struttura, insieme alle principali pubblicazioni edite nel corso della sua storia istituzionale.

La rappresentazione cartografica in allegato 1.3.1 riporta le sole stazioni pluviometriche e i relativi topoi, individuati dallo shapefile reperibile con il corrispettivo kmz in [\\ALL_1_ANALISI_CONOSCITIVA\RETIPLUVIOMETRICHE\StazioniPluviometriche2014_SMM Puglia].

Nell'allegato 1.3.2 sono elencate le stazioni di riferimento, descritte attraverso i seguenti campi:

Nome (label)	RH=umidità aria
Tipo: Radio o GSM	VV=velocità del vento
Località	DV=direzione del vento
Provincia	PA=pressione atmosferica
Coordinata X e Y nel sistema geografico	MSLDM=metri su livello medio mare
PP=pluviometrica	Bacino
TA=temperatura	ZA=Zona di allerta (es. Pugl-D)
LV=livello idrico	

1.4.2 La rete Assocodipuglia

Ad integrazione del quadro conoscitivo sono state cartografate nell'allegato 1.3.1 anche le stazioni dell'Associazione Regionale dei Consorzi di Difesa della Puglia, denominata ASSOCODIPUGLIA, istituita con legge regionale n. 24 dell'11 maggio 1990 (Bollettino uff. della Regione Puglia n. 97 del 4/6/90 art. 11). La Banca Dati del Servizio Agrometeorologico della Regione Puglia rende disponibili le grandezze meteorologiche e agrometeorologiche, rilevate da alcune stazioni negli ultimi due giorni. Mentre i dati storici di tutte le stazioni possono comunque essere richiesti, come forniture una-tantum o continuative, all'Assocodipuglia tramite registrazione.

Nell'allegato 1.3.2 è presente l'elenco delle stazioni, denominate attraverso il campo 'codice stazione', fornito dall'Assocodipuglia. Per ogni stazione è indicata la data di inizio e quella di fine registrazione. Lo shapefile puntuale e il corrispettivo kmz è reperibile in [\\ALL_1_ANALISI_CONOSCITIVA\RETIPLUVIOMETRICHE\stazioni_assocodipuglia] e presenta i seguenti campi descrittivi dei record:

str_1: codice della stazione (label)
dbl_1: latitudine
dbl_2: longitudine
str_2: località

Gli elaborati del presente studio non sono riutilizzabili né modificabili da soggetti terzi, per aree esterne a quelle del bacino del Cervaro.

Rilievi topografici – II

ALLEGATI



- 2.1 - I corsi d'acqua ricadenti nel bacino del torrente Cervaro con area contribuyente uguale o maggiore di 25km²
- 2.2 - Copertura Lidar
- 2.3.1 - Attraversamenti idraulici rilevati nel bacino del torrente Cervaro. Rappresentazione cartografica
- 2.3.2 - Scheda monografica rilievo attraversamenti
- 2.3.3 - Elenco attraversamenti rilevati
- 2.3.4 - Caratteristiche geometriche degli attraversamenti minori
- 2.4.1a - Rappresentazione vettoriale del modello geometrico del Cervaro TAV.1
- 2.4.1b - Rappresentazione vettoriale del modello geometrico del Cervaro TAV.2
- 2.4.1c - Rappresentazione vettoriale del modello geometrico del Cervaro TAV.3
- 2.4.1d - Rappresentazione vettoriale del modello geometrico del Cervaro TAV.4
- 2.4.1e - Rappresentazione vettoriale del modello geometrico del Cervaro TAV.5
- 2.4.1f - Rappresentazione vettoriale del modello geometrico del Cervaro TAV.6

ARCHIVIO DIGITALE



- \IDROGRAFIA
 - Reticolo 25 km² (shp e kmz)
 - Bacini idrografici 25 km² (shp e kmz)
- \LIDAR
 - Coperture Lidar (shp)
 - Tavolette Lidar (ascii)
- \ATTRAVERSAMENTI_IDRAULICI
 - Attraversamenti idraulici rilevati (shp e kmz)
 - Schede monografiche dei rilievi
- \MORFOLOGIA
 - Sezioni trasversali 3D (shp e kmz)



Obiettivo di questa fase è l'integrazione del rilievo topografico disponibile e la restituzione in formato vettoriale della morfologia dei corsi d'acqua indagati, con la definizione di un rappresentativo numero di sezioni trasversali, estese fino al limite della fascia di pertinenza fluviale, comprensivo del rilievo di dettaglio di tutti i manufatti interferenti con le predette aree di pertinenza.

2.1 I CORSI D'ACQUA RICADENTI NEL BACINO DEL TORRENTE CERVARO

I corsi d'acqua indagati sono quelli aventi bacini idrografici uguali o maggiori di 25 km², così come rappresentati nella tavola allegata 2.1, codificati secondo la seguente tabella. I bacini idrografici e il corso principale di ciascuna asta sono riportati in forma vettoriale nella cartella [\\ALL_2_TOPOGRAFIA\IDROGRAFIA], sia come shapefile che come kmz.

Tabella 2.1 – Codifica corsi d'acqua

BACINO
TORRENTE CERVARO (a stazione Incoronata) [CER01]
TORRENTE CERVARO (a foce) [CERCAR]
TORRENTE AVELLA [CER01]
TORRENTE SANNORO [CER01]
TORRENTE POTESANO [CER01]
TORRENTE LAVELLA [CER01]
CANALE POZZO VITOLO [CER01]
CANALE RUANELLA [CERCAR]
SAN LORENZO [CERCAR]

La base geometrica per la creazione dei vettoriali rappresentanti la morfologia dei corsi d'acqua è costituita, in ordine di priorità, da:

- 1) rilievi LIDAR, acquisiti a partire dal 25 gennaio 2010, mediante intese avviate con il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare;
- 2) DTM con cella di 8 m derivante dalla Carta Tecnica Regionale in scala 1:5.000 della Regione Puglia.

Tale base geometrica è infine integrata da:

- 3) rilievi di campo dei canali artificiali;
- 4) rilievi delle opere di attraversamento idraulico.

Per i corsi d'acqua principali si sono quindi realizzati modelli Hec-Ras, mediante procedimento Hec-GeoRAS implementato in ambiente GIS. Tale procedura consente sia la restituzione vettoriale che la definizione tabellare di sezioni trasversali tracciate, con passo significativo, lungo l'asse dei corsi d'acqua. Inoltre, nei modelli è possibile inserire la rappresentazione geometrica dei principali attraversamenti idraulici, avvalendosi di accurati rilievi in campo e documentazione fotografica. Il sistema di riferimento adottato è il WGS84-UTM 33 N.

2.2 I RILIEVI LIDAR

Il LIDAR (*Light Detection and Ranging*) è una tecnica di telerilevamento attivo che consente l'esecuzione di rilievi topografici ad alta risoluzione e ad elevata velocità di acquisizione dei dati, attraverso un laser scanner, installato su di un aereo, costituito da un trasmettitore (laser), un ricevitore (composto da un telescopio) ed un sistema di acquisizione dei dati.

Nel dettaglio, il distanziometro laser emette una quantità prestabilita di impulsi ad alta frequenza che viene deviata perpendicolarmente da uno specchio rotante. Maggiore è il numero di impulsi, maggiore è l'accuratezza del rilievo. L'intensità del segnale riflesso e la quota del terreno, calcolata sulla base del tempo trascorso tra il segnale emesso e quello riflesso, vengono registrati da un sensore.

All'interno del velivolo sono presenti un sistema di posizionamento satellitare (GPS) ed un sistema inerziale di navigazione (INS), che consentono di determinare la posizione e l'orientamento dell'aereo in ogni istante. A terra sono invece posizionate stazioni GPS sui vertici di una rete geodetica appositamente creata, al fine di poter correggere la posizione dell'aereo nella fase di post-processing dei dati.

Sulla base della dimensione e della forma della superficie che si vuole scansionare si organizzano i piani di volo; la raccolta dei dati avviene tramite ricognizione su predefinite aree del territorio, dette "strisce". La larghezza di queste strisce è funzione di vari elementi, come le caratteristiche dello scanner impiegato, il tipo e la risoluzione del rilievo che si vuole ottenere e l'altezza di volo.

Il processo di elaborazione dei dati può essere sintetizzato nelle seguenti fasi:

1. stima della traiettoria e dell'orientazione del sensore tramite il sistema di posizionamento satellitare ed il sistema inerziale di navigazione;
2. generazione dell'archivio di punti registrati con le relative coordinate e quote;
3. classificazione dei punti sulla base dell'altezza e dell'intensità del segnale riflesso, attribuendo un ben preciso significato fisico agli elementi rilevati;
4. generazione dei modelli digitali del terreno o della superficie (DTM, DSM).

I punti acquisiti dal rilievo LiDAR sono quindi trattati dal punto di vista della georeferenziazione e successivamente classificati in base all'appartenenza al terreno o al "non - terreno" (edifici, pali, tralicci, copertura vegetale). Tale procedura si effettua mediante algoritmi automatici e semi - automatici che consentono di ricavare da tali nuvole di punti modelli a maglia regolare. I DSM - *Digital Surface Model* rappresentano sia i terreni aperti che le sommità di manufatti, edifici e specie vegetali. L'eliminazione degli oggetti solidi in elevazione e la sostituzione con porzioni di superficie ottenute per interpolazione dei valori circostanti, consente di ottenere i modelli digitali del solo terreno, ovvero i DTM - *Digital Terrain Model*. La differenza tra DSM e DTM è rappresentata nella figura di seguito riportata.

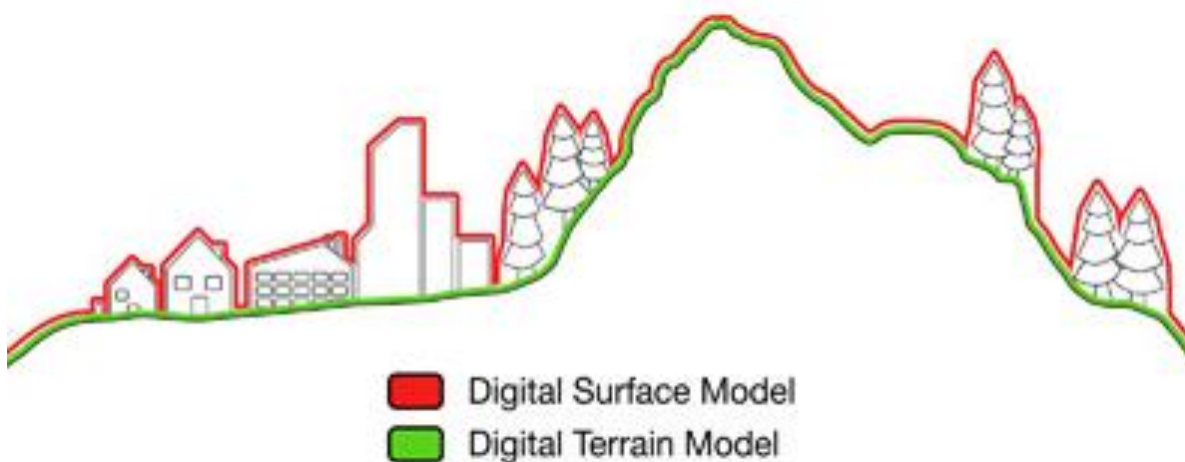


Figura 2.1 – Differenza tra DSM e DTM

La copertura dei rilievi LIDAR acquisiti è rappresentata dalla cartografia allegata 2.2. Si condividono inoltre i grigliati delle tavolette in [\ALL_2_TOPOGRAFIA\LIDAR]. Il sistema di riferimento delle tavolette è il Sistema di Coordinate Geografiche WGS-84. La copertura riguarda il reticolo idrografico con area contribuente di 25 kmq, la fascia costiera e altre aree critiche. Le coperture sono individuate dagli shapefile in WGS84-UTM33N in [\ALL_2_TOPOGRAFIA\LIDAR\Coperture], uno per ogni campagna di rilievo, secondo l'associazione in tabella 2.2. Il nome delle tavolette è indicato nel campo 'tavola' degli shapefile. Le tavolette, in formato ascii, sono archiviate nei file .zip, denominati con la sigla del rispettivo shapefile relativo al progetto di copertura LIDAR.

Tabella 2.2 – Codifica delle campagne di rilievo

_01:	progetto Miadra
_02:	estensione progetto Miadra
_03:	progetto PST_A
_03C:	progetto PST_A fascia costiera

2.3 IL RILIEVO DELLE OPERE DI ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO

L'Autorità di Bacino della Puglia ha realizzato un *database* degli attraversamenti idraulici del reticolo idrografico con la rete stradale e ferroviaria. Tale *database* vuole rappresentare un incremento del quadro conoscitivo con una duplice finalità. Da un lato vuole essere uno strumento utile alla modellistica idraulica per la caratterizzazione idraulico-geometrica dell'attraversamento, dall'altro vuole rappresentare un elemento di analisi delle criticità ai fini di polizia idraulica.

Gli attraversamenti analizzati sono quelli che derivano dall'intersezione del reticolo idrografico della Carta Idrogeomorfologica dell'AdB Puglia (notificata all'Amministrazione regionale della Puglia in data 05/01/2010 con nota prot. 75 e consultabile all'indirizzo web www.adb.puglia.it) con la viabilità stradale e ferroviaria del progetto DBPrior10K-Ottobre 2007 del Centro Interregionale.

Per la viabilità stradale sono stati acquisiti tutti gli elementi rappresentanti gli assi delle strade di tipo Autostrade, Strade Statali, Regionali e Provinciali, nonché le strade comunali o militari necessarie a garantire la connessione al grafo di tutti i Centri Abitati indicati nella relativa copertura ISTAT 1991; inoltre, sono state acquisite le strade urbane di scorrimento in modo da garantire la connessione tra le varie strade extraurbane che convergono nei centri urbani. Per la viabilità ferroviaria sono acquisite tutte le ferrovie del territorio nazionale, sia appartenenti alle Ferrovie dello Stato che ad altre compagnie.

Ogni attraversamento è stato codificato secondo il seguente metodo esemplificativo:

FC XXX YYYYY FV

dove:

le prime 2 lettere costituiscono l'identificativo della provincia (ad esempio BA = Bari, BR = Brindisi, FC = Fiumi Capitanata, ecc.);

la prima tripletta di numeri (XXX) identifica il bacino in cui è ubicato l'attraversamento;

le successive 5 cifre (YYYYY) identificano l'attraversamento all'interno del bacino;

le ultime due lettere rappresentano la tipologia della strada attraversata (ad esempio FV = ferrovia, SS = strada statale, SP = strada provinciale, AS = autostrada, SL = strade locali, NC = non cartografate).

Lo *shape-file* contenente gli attraversamenti ricadenti nel bacino del torrente Cervaro è denominato 'AttravIdr_AdBP_Cervaro', nel quale ogni opera è identificata da un codice univoco (di seguito denominato CodAttr) e da una coppia di coordinate geografiche (E_geo, N_geo), riportate in elenco nell'allegato 2.3.3 e 2.3.4. Tale *shape-file* corredato dal file .kmz è disponibile nella cartella [\\ALL_2_TOPOGRAFIA\\ATTRAVERSAMENTI]. La rappresentazione cartografica è rimandata alle tavole 2.3.1. Ad ogni punto rilevato è associata una scheda monografica del *database*, riportata all'allegato 2.3.2 ed illustrata a seguire.

Successivamente, il rilievo è stato esteso agli attraversamenti idraulici relativi alle infrastrutture stradali e ferroviarie classificate appartenenti a viabilità minore, individuati sulla base della loro rilevanza ai fini della modellistica idraulica. Le informazioni geometriche relative a tali opere sono riportate nell'allegato 2.3.4.

2.3.1 Descrizione della scheda monografica

SEZIONE 1 - identificazione dell'opera.

- **Codice Attraversamento:** codice dell'opera di attraversamento (es. BA 001 00001 FV), identificato dallo *shape-file* 'AttravIdr_AdBP_Cervaro'.
- **Coord Piana X UTM WGS84:** campo numerico riportante le coordinate piana X nel sistema di riferimento UTM-WGS84, definita dallo *shape-file* 'AttravIdr_AdBP_Cervaro'.
- **Coord Piana Y UTM WGS84:** campo numerico riportante le coordinate piana Y nel sistema di riferimento UTM-WGS84, definita dallo *shape-file* 'AttravIdr_AdBP_Cervaro'.
- **Coord Geo E WGS84:** campo numerico riportante le coordinate geografica Est nel sistema di riferimento WGS84, definita dallo *shape-file* 'AttravIdr_AdBP_Cervaro'.
- **Coord Geo N WGS84:** campo numerico riportante le coordinate geografica Nord nel sistema di riferimento WGS84, definita dallo *shape-file* 'AttravIdr_AdBP_Cervaro'.
- **Regione:** campo alfabetico, da compilare sulla base dell'ubicazione del punto relativamente allo *shape-file* denominato 'Comuni_AdBP_2012.shp'.
- **Provincia:** campo alfabetico, da compilare sulla base dell'ubicazione del punto relativamente allo *shape-file* denominato 'Comuni_AdBP_2012.shp'.
- **Comune:** campo alfabetico, da compilare sulla base dell'ubicazione del punto relativamente allo *shape-file* denominato 'Comuni_AdBP_2012.shp'.
- **Tipo di infrastruttura:** campo alfabetico, selezionabile tra 'Ferrovia, Autostrada, Strada Statale, Strada Provinciale, Strade Locali', da compilare in funzione del codice dell'attraversamento in cui le ultime due lettere rappresentano la tipologia della strada attraversata (FV = ferrovia; SS = strada statale; SP = strada provinciale; AS = autostrada; SL = strade locali).
- **Data del rilievo:** campo data da compilare.
- **Rilevatore:** campo alfanumerico contenente cognome, nome e società.
- **Data della compilazione:** campo data da compilare.
- **Area contribuente:** campo numerico da NON compilare.
- **foto monte attraversamento idraulico:** campo alfanumerico recante il nome del file contenente la fotografia scattata al lato monte dell'attraversamento (CodAttr_MA.jpg).
- **foto valle attraversamento idraulico:** campo alfanumerico recante il nome del file contenente la fotografia scattata al lato valle dell'attraversamento (CodAttr_VA.jpg).
- **foto monte alveo:** campo alfanumerico recante il nome del file contenente la fotografia scattata a monte dell'attraversamento verso monte (CodAttr_MM.jpg)
- **foto valle alveo:** campo alfanumerico recante il nome del file contenente la fotografia scattata a valle dell'attraversamento verso valle (CodAttr_VV.jpg).
- **foto particolari:** campo alfanumerico recante nome dei file contenenti le fotografie scattate ad elementi di particolare importanza -es. ostruzioni, soglie, ecc. non ben visibili nelle precedenti foto - (CodAttr_PX.jpg).
- **descrizione particolari:** campo alfanumerico recante la descrizione delle foto dei particolari.
- **Caposaldo:** deve essere indicata la posizione del punto di materializzazione con le rispettive coordinate **X, Y e Z** nel sistema di riferimento UTM-WGS84.
 - collocazione altimetrica: scegliendo tra 'estradosso' nel caso in cui il caposaldo è sull'impalcato e 'invert' nel caso in cui il caposaldo è alla base dell'imbocco;
 - collocazione planimetrica: scegliendo tra 'centro', 'sx M', 'sx V', 'dx M', 'dx V', secondo lo schema in figura 6 e le indicazioni fornite nella sezione 2 per l'infrastruttura a raso o il rilevato pieno.
- **Foto caposaldo:** campo alfanumerico recante il nome del file contenente la fotografia con l'inquadramento del caposaldo (CodAttr_CS.jpg)

SEZIONE 2 - caratterizzazione geometrica

E' selezionabile una tra le quattro differenti opere con cui l'infrastruttura stradale/ferroviaria interseca il reticolo idrografico:

a) A RASO

- **muri laterali in cemento:** campo booleano, da spuntare qualora l'attraversamento stradale-ferroviario sia accompagnato da muri laterali in cemento;
- **muri laterali a secco:** campo booleano, da spuntare qualora l'attraversamento stradale-ferroviario sia accompagnato da muri laterali a secco;
- **altezza muri:** campo numerico contenente l'altezza in metri degli eventuali muri laterali;
- **Q centro X:** campo numerico riportante le coordinate X nel sistema di riferimento UTM-WGS84, rilevata con strumentazione GPS sul rilevato in corrispondenza del suo asse di simmetria trasversale.
- **Q centro Y:** campo numerico riportante le coordinate Y nel sistema di riferimento UTM-WGS84, rilevata con strumentazione GPS sul rilevato in corrispondenza del suo asse di simmetria trasversale.
- **Q centro Z:** campo numerico riportante le coordinate Z nel sistema di riferimento UTM-WGS84, rilevata con strumentazione GPS sul rilevato in corrispondenza del suo asse di simmetria trasversale.

b) RILEVATO PIENO

- **altezza rilevato:** campo numerico recante l'altezza in metri del rilevato, ovvero il dislivello tra il fondo dell'alveo e l'estradosso del rilevato.
- **Q centro X:** campo numerico riportante le coordinate X nel sistema di riferimento UTM-WGS84, rilevata con strumentazione GPS sul rilevato in corrispondenza del suo asse di simmetria trasversale.
- **Q centro Y:** campo numerico riportante le coordinate Y nel sistema di riferimento UTM-WGS84, rilevata con strumentazione GPS sul rilevato in corrispondenza del suo asse di simmetria trasversale.
- **Q centro Z:** campo numerico riportante le coordinate Z nel sistema di riferimento UTM-WGS84, rilevata con strumentazione GPS sul rilevato in corrispondenza del suo asse di simmetria trasversale.
- **handrail:** campo booleano da spuntare nel caso in cui vi sia la presenza di ringhiere o muri di protezione sull'estradosso del rilevato; se spuntato deve essere indicata l'**altezza** in metri di tale elemento e la **% di blocco** nei rispettivi campi numerici;

c) PONTE

Devono essere compilate due tabelle. La prima (Tabella A) contiene le coordinate in WGS84 UTM 33 N di quattro punti di inquadramento, le cui ubicazioni sull'estradosso del ponte sono individuate nella vista planimetrica in figura 2.5:

- **Qext sx M:** punto di inizio della luce libera al deflusso sul lato di monte;
- **Qext sx V:** punto di fine della luce libera al deflusso sul lato di monte;
- **Qext dx M:** punto di inizio della luce libera al deflusso sul lato di monte;
- **Qext dx V:** punto di fine della luce libera al deflusso sul lato di monte.

La seconda tabella (Tabella B) contiene le informazioni relative alla caratterizzazione geometrica trasversale del ponte per definire l'area lorda libera al deflusso (secondo la raffigurazione della sezione trasversale in figura A). In ogni riga si inserisce la larghezza della luce L, l'altezza della luce H ovvero l'altezza in chiave H_C e in spalla H_S , lo spessore dell'impalcato D e la larghezza della pila successiva P in destra idraulica. Il numero di righe deve corrispondere al numero di luci.

Seguono i campi:

- **forma pila:** campo alfabetico selezionabile tra '*semicircular nose and tail (A)*, *cylinder piers with connecting diaphragm (B)*, *cylinder piers without diaphragm (C)*, *triangular nose and tail (D)*, *square nose and tail (E)*', secondo lo schema in figura B;
- **lunghezza singola pila:** campo numerico dove inserire la lunghezza della singola pila, la cui forma è rappresentata graficamente con il relativo simbolo "l" (circolare, ovoidale, rettangolare) come in figura C;

Tabella A. Coordinate piano altimetriche dei punti di inquadramento

	X	Y	Z
Qext sx M	<i>c.n.</i>	<i>c.n.</i>	<i>c.n.</i>
Qext sx V	<i>c.n.</i>	<i>c.n.</i>	<i>c.n.</i>
Qext dx M	<i>c.n.</i>	<i>c.n.</i>	<i>c.n.</i>
Qext dx V	<i>c.n.</i>	<i>c.n.</i>	<i>c.n.</i>

Tabella B. Caratterizzazione geometrica trasversale del ponte

n.ro luci	L	Ho o Hc	Hs	D	P
1	<i>c.n.</i>	<i>c.n.</i>	<i>c.n.</i>	<i>c.n.</i>	<i>c.n.</i>
2	<i>c.n.</i>	<i>c.n.</i>	<i>c.n.</i>	<i>c.n.</i>	<i>c.n.</i>
3	<i>c.n.</i>	<i>c.n.</i>	<i>c.n.</i>	<i>c.n.</i>	//
4 ...					

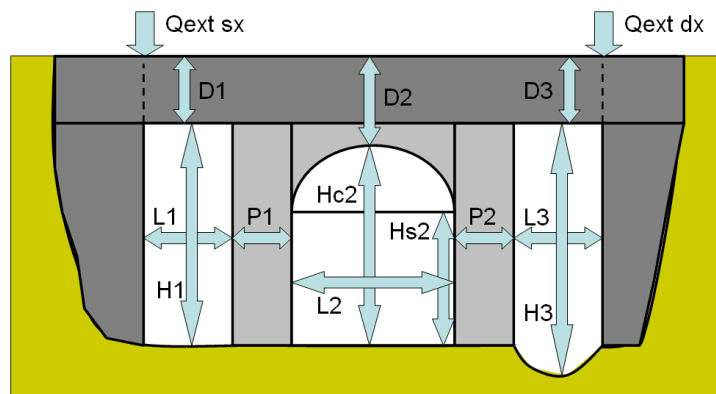


Figura A. Elementi caratteristici della geometria trasversale del ponte

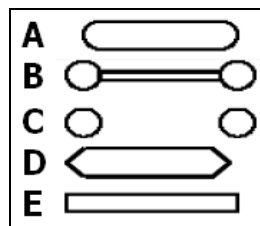


Figura B. Tipologia delle pile del ponte

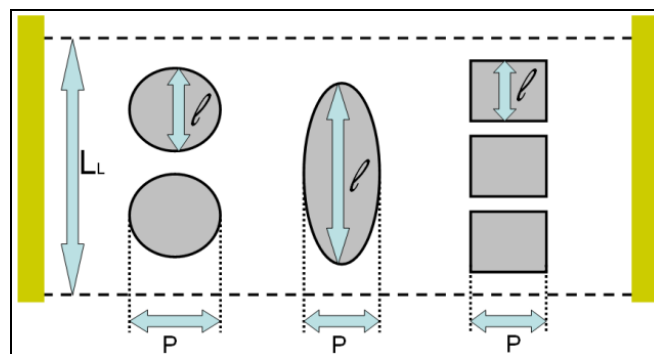


Figura C. Elementi caratteristici della geometria trasversale del ponte

d) **CULVERT**

Devono essere compilate due tabelle. La prima (Tabella C) contiene le coordinate in WGS84 UTM 33 N di 4 punti di inquadramento (le cui ubicazioni sono individuate nella vista planimetrica di figura 2.5), analogamente al caso 'ponte'. La seconda tabella (Tabella D) contiene le informazioni per la caratterizzazione geometrica trasversale del *culvert*, secondo la raffigurazione della sezione trasversale in figura 2.4. In ogni riga si inserisce la forma del *culvert* (selezionabile tra S-scatolare, O-ovoidale e A-arco), la larghezza del *culvert* B o il diametro orizzontale D_o , l'altezza del *culvert* H o il diametro verticale D_v ovvero l'altezza in chiave H_c e in spalla H_s , lo spessore dell'impalcato D e la larghezza del pieno successivo P (in destra idraulica). Il numero di righe deve corrispondere al numero dei *culvert*.

Tabella C. Coordinate piano altimetriche dei punti di inquadramento

	X	Y	Z
Qext sx M	c.n.	c.n.	c.n.
Qext sx V	c.n.	c.n.	c.n.
Qext dx M	c.n.	c.n.	c.n.
Qext dx V	c.n.	c.n.	c.n.

Tabella D. Caratterizzazione geometrica trasversale del culvert

n.ro culvert	forma	B o D_o	H o D_v o H_c	H_s	D	P
1	S o O o A	c.n.	c.n.	c.n.	c.n.	c.n.
2	S o O o A	c.n.	c.n.	c.n.	c.n.	c.n.
3	S o O o A	c.n.	c.n.	c.n.	c.n.	//
4	S o O o A					
5	S o O o A					
...	S o O o A					

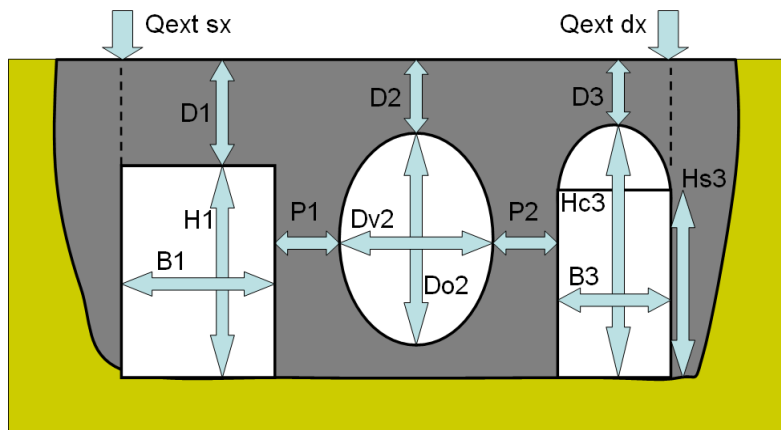


Figura D. Elementi caratteristici della geometria trasversale del *culvert*

SEZIONE 3 – **inserimento dell'opera**

Questa sezione deve essere compilata solo nel caso di ponte o *culvert*.

- **materiale**: campo alfabetico selezionabile tra 'cemento, pareti metalliche, armco, legno, muratura';
- **lunghezza**: campo numerico nel quale inserire la lunghezza longitudinale in metri dell'attraversamento, rappresentata con il simbolo L_L in figura 2.5;
- **inclinazione asse-rilevato**: campo numerico nel quale inserire l'angolo in gradi tra l'asse longitudinale del rilevato e l'asse longitudinale dell'attraversamento idraulico rappresentato con il simbolo α in figura E, orientativamente a scelta tra 15°, 35°, 75° e 90°;
- **tratto canalizzato**: campo booleano da spuntare nel caso in cui l'attraversamento si inserisce in un tratto canalizzato
- **platea**: campo booleano da spuntare nel caso in cui ci sia la presenza di una platea sul fondo dell'attraversamento;
- **presenza di aree golenali**: campo booleano da spuntare nel caso in cui l'opera di attraversamento interessa anche aree golenali;
- **presenza di arginature**: campo booleano da spuntare nel caso in cui ci sono argini interni alla luce totale dell'attraversamento;
- **imbocco sporgente**: campo booleano da spuntare nel caso in cui l'imbocco sia sporgente rispetto alla faccia di monte del rilevato; se spuntato deve essere indicata la lunghezza in metri della sporgenza nel campo numerico **sporgenza**;
- **muri d'ala di imbocco**: campo booleano da spuntare nel caso in cui a monte dell'attraversamento vi sia la presenza di muri d'ala di accompagnamento all'imbocco; in tal caso deve essere indicato l'angolo in gradi tra muro e asse longitudinale dell'attraversamento idraulico nel campo numerico **inclinazione**, orientativamente a scelta tra 15°, 35°, 75° e 90°;
- **salto di fondo monte**: campo booleano da spuntare nel caso in cui a monte dell'attraversamento vi sia la presenza di un salto di fondo; in tal caso deve essere indicata la **lunghezza** e la **profondità** del salto in metri nei rispettivi campi numerici;
- **handrail**: campo booleano da spuntare nel caso in cui vi sia la presenza di ringhiere o muri di protezione sull'estradosso del rilevato; se spuntato deve essere indicata l'**altezza** in metri di tale elemento e la **% di blocco** nei rispettivi campi numerici;
- **sbocco a sbalzo**: campo booleano da spuntare nel caso in cui lo sbocco sia sopraelevato rispetto al fondo dell'alveo di valle; se spuntato deve essere indicata l'altezza del salto in metri nel campo numerico **dislivello**;
- **muri d'ala di sbocco**: campo booleano da spuntare nel caso in cui a valle dell'attraversamento vi sia la presenza di muri d'ala di accompagnamento allo sbocco; in tal caso deve essere indicato l'angolo in gradi tra muro e asse longitudinale dell'attraversamento idraulico nel campo numerico **inclinazione**, orientativamente a scelta tra 15°, 35°, 75° e 90°;
- **briglia di valle**: campo booleano da spuntare nel caso in cui a valle dell'attraversamento vi sia la presenza di una briglia; in tal caso devono essere indicati in metri la **distanza** dallo sbocco e la **larghezza dello stramazzo** nei rispettivi campi numerici;
- **sede stradale**: campo booleano da spuntare nel caso in cui l'attraversamento idraulico è sede di un sottopasso stradale;
- **presenza di segni di scalzamento**: campo booleano da spuntare nel caso in cui vi sia la presenza di segni di scalzamento; in tal caso deve essere indicata in metri la **profondità** dello scalzamento nel campo numerico associato;
- **presenza significativa di sedimenti**: campo booleano da spuntare nel caso in cui vi sia la presenza significativa di sedimenti; in tal caso deve essere indicata la **% di ostruzione** rispetto alla luce libera;
- **vegetazione**: campo alfabetico selezionabile tra 'assente, rada, fitta'; deve essere indicata la **% di ostruzione** nel campo numerico associato;
- **presenza significativa di materiale di rifiuto**: campo booleano da spuntare nel caso in cui l'attraversamento sia occupato da materiale di rifiuto; in tal caso deve essere indicata la **% di ostruzione** nel campo numerico associato;
- **presenza di elementi strutturali di riduzione della sez. libera**: campo booleano da spuntare nel caso in cui l'attraversamento sia interessato dalla presenza trasversale o longitudinale di elementi strutturali che ne riducono la sezione libera; in tal caso devono essere indicati nei rispettivi campi la **tipologia di elemento trasversale e/o longitudinale alla direzione di flusso** (es. condotta, trave, pilastro) e la sua **% di ostruzione** della luce libera.

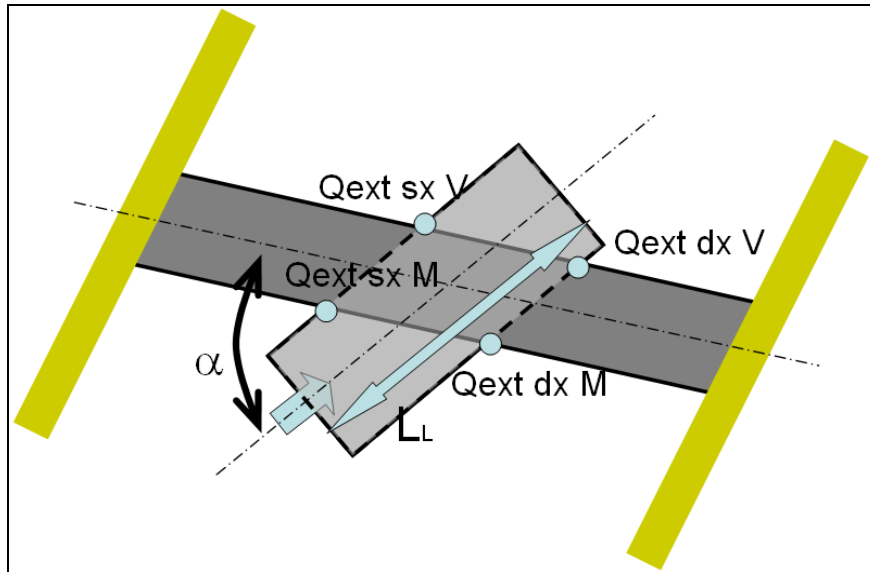


Figura E. Rappresentazione planimetrica dell'attraversamento idraulico

SEZIONE 4 – polizia idraulica

La compilazione della sezione seguente prevede valutazioni qualitative sull'opera di attraversamento in relazione alla polizia idraulica in merito ai seguenti aspetti:

L'opera è ortogonale all'asse della corrente	SI	NO	
L'opera è ubicata in un tratto di alveo:	rettilineo	curva	
Difese spondali	assenti	sporadiche	diffuse
Opere di stabilizzazione del fondo	assenti	sporadiche	diffuse
Condizione opere	buone	dissestate	
Presenza di infrastrutture e/o fabbricati in alveo	SI	NO	
Si rileva un fenomeno generalizzato di abbassamento d'alveo	SI	NO	
Le fondazioni presentano segni di dissesto	SI	NO	
L'opera presenta una sezione decisamente inadeguata anche rispetto all'alveo inciso	SI	NO	
Le pile favoriscono il deposito di materiale e/o vegetazione	SI	NO	
Le pile condizionano la funzionalità idraulica	SI	NO	
Le pile favoriscono erosione e deposito	SI	NO	
L'opera determina riduzione in larghezza	SI	NO	
L'opera determina riduzione in altezza	SI	NO	

SEZIONE 5 – note

Campo alfanumerico in cui riportare ogni nota utile alla descrizione dell'attraversamento.

Nella scheda cartacea di campo è richiesto una rappresentazione grafica dell'attraversamento.

2.4 LA RAPPRESENTAZIONE VETTORIALE DEI CORSI D'ACQUA

Gli allegati 2.4 contengono le cartografie dei corsi d'acqua oggetto di studio, in cui sono individuati gli elementi geometrici e topografici che caratterizzano il modello idraulico realizzato.

Nello specifico, per ogni asta fluviale, sono rappresentati l'asse del corso d'acqua, le sue sponde, le tracce delle sezioni trasversali, la copertura LiDAR delle aree limitrofe e gli attraversamenti idraulici, secondo la legenda raffigurata in figura 2.2.

L'asse del corso d'acqua (*stream centerline*) e le sponde in destra e sinistra idraulica (*banks*) sono stati digitalizzati in ambiente GIS sulla base del modello digitale del terreno e dell'ortofoto. Tali elementi sono necessari per individuare la direzione del corso d'acqua e la sua estensione morfologica. Le sezioni idrauliche (*river station*) sono state anch'esse tracciate in ambiente GIS con un passo di circa 30 metri ed in corrispondenza di variazioni di pendenza e di forma, nonché a monte e a valle delle opere di attraversamento idraulico. La definizione delle sezioni idrauliche è stata effettuata con l'obiettivo di ricostruire dettagliatamente le caratteristiche morfologiche del corso d'acqua.

Nella cartella [\ALL_2_TOPOGRAFIA\MORFOLOGIA] sono contenute le sezioni trasversali estratte su base LIDAR, riportate come shapefile 3D. Nella cartella [\ALL_5_MODELLI_IDRAULICI] sono inseriti i modelli HEC-RAS dei corsi d'acqua, contenenti la rappresentazione geometrica delle sezioni trasversali (v. figura 2.3) e dei profili del corso d'acqua.

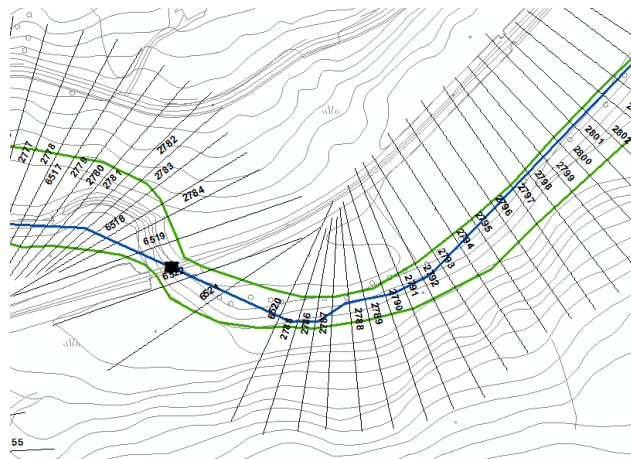


Figura 2.2 – Rappresentazione della morfologia del corso d'acqua

In nero le tracce delle sezioni trasversali, in verde e in blu rispettivamente le sponde e l'asse del corso d'acqua. Con il simbolo nero sono rappresentati gli attraversamenti viari

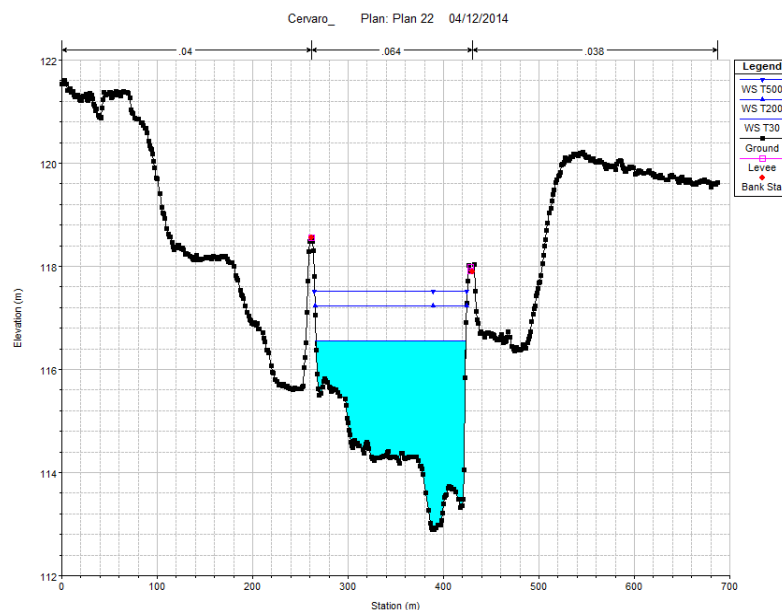


Figura 2.3 – Sezione trasversale estratta su base LIDAR, rappresentata con il software HECRAS

Gli elaborati del presente studio non sono riutilizzabili né modificabili da soggetti terzi, per aree esterne a quelle del bacino del Cervaro.

Caratterizzazione geomorfoidrologica – III

ALLEGATI



3.1- L'indice di Manning. Relazione

ARCHIVIO DIGITALE



```
\LAYERS_GEOIDRO
  \VETTORIALI
    Bacini esoreici (shp)
    Sezioni di chiusura (shp)
  \RASTER
    Flow-Direction (raster)
    Flow-Accumulation (raster)
  \ALL_PROCESSING
    Tutti i file di processamento (raster, shape)
\MANNING
  Tabelle dell'indice di Manning (xls)
  Mappa dell'uso del suolo (shp)
```



Obiettivo di questa fase è la definizione delle caratteristiche geomorfologiche e idrologiche dei bacini idrografici afferenti ai corsi d'acqua oggetto dello studio, avendo particolare cura nella stima di parametri di particolare significatività mediante tecnologie di nuova generazione.

In particolare, si vogliono elaborare mappe utili agli studi idrologico-idraulici, sia per la definizione univoca dei bacini idrografici, che per la definizione della scabrezza idraulica, parametro adoperato per la rappresentazione della resistenza al flusso.

3.1 LE MAPPE PER LE ANALISI IDROLOGICHE

I bacini idrografici sono comunemente determinati attraverso modelli digitali del terreno mediante procedure automatiche in ambiente GIS, le quali possono essere schematizzate attraverso le seguenti fasi:

- DEM: costruzione del modello digitale del terreno attraverso curve di livello o punti.
- FILL: depittaggio del modello digitale del terreno.
- FLOWDIRECTION: definizione delle direzioni di flusso.
- FLOWACCUMULATION: definizione delle aree contribuenti.

La creazione di questi raster, mediante step successivi, consente di determinare il bacino idrografico in qualsiasi sezione di chiusura individuata sul reticolo idrografico.

Tuttavia, l'accuratezza con la quale le linee di displuvio e compluvio sono definite dipende da numerosi fattori quali - per citarne solo alcuni di più immediata comprensione - la risoluzione del DEM di partenza, la presenza di elementi antropici (es. canali, rilevati) o di depressioni naturali. Quando i bacini idrografici hanno ordine di grandezza maggiore delle centinaia di chilometri quadrati e si adoperano DEM con risoluzione centometrica, il dettaglio di questi elementi è spesso ininfluenza o comunque l'incertezza della definizione del bacino è percentualmente irrilevante rispetto alla dimensione dello stesso.

Si è provveduto a creare le mappe delle direzioni di flusso e delle aree contribuenti su tutto il territorio di analisi. Queste mappe consentono una definizione univoca dei bacini idrografici, avendo quale base il modello digitale del terreno (D'TM), prodotto dalla Regione Puglia nell'ambito del progetto della Carta Tecnica Regionale, con risoluzione al suolo pari a 8 metri, e il reticolo della nuova Carta Idrogeomorfologica della Puglia.

Si rappresenta che le suddette mappe, essendo derivate da procedure prevalentemente automatizzate, non tengono conto di particolari situazioni (quali ad esempio opere antropiche o rilievi di maggior dettaglio) che possono determinare differenti distribuzioni delle aree contribuenti.

3.1.1 I raster delle direzioni di flusso e delle aree contribuenti

Al fine di individuare i bacini idrografici si sono ricavate le mappe delle direzioni di flusso (*fdir*) e delle aree contribuenti (*facc_mq*). I layers qui descritti, condivisi in [\ALL_3_GEOMORFOIDROLOGICA\LAYERS_GEOIDRO\RASTER], costituiscono gli elementi base del modello idrologico descritto al capitolo IV.

La caratterizzazione idrogeomorfologica è basata sulla valutazione dei percorsi di scorrimento delle acque superficiali ottenuti mediante l'assegnazione, per ogni cella del bacino, della direzione di drenaggio locale. La determinazione della *Flow Direction* si basa sul principio fisico secondo il quale, una massa che procede a gravità, quale una particella liquida che scorre sul terreno, segue la direzione della massima pendenza [Petroselli et al., 2008]. Le direzioni di flusso, pertanto, individuano, tra le otto direzioni, quattro cardinali (Est, Nord, Ovest, Sud) e quattro diagonali (Nord-Est, Nord-Ovest, Sud-Ovest, Sud-Est), quella preferenziale di scorrimento sulla base del confronto tra il valore di altezza proprio di ciascun pixel e quello dei pixel contermini secondo lo schema indicato in figura 3.1.

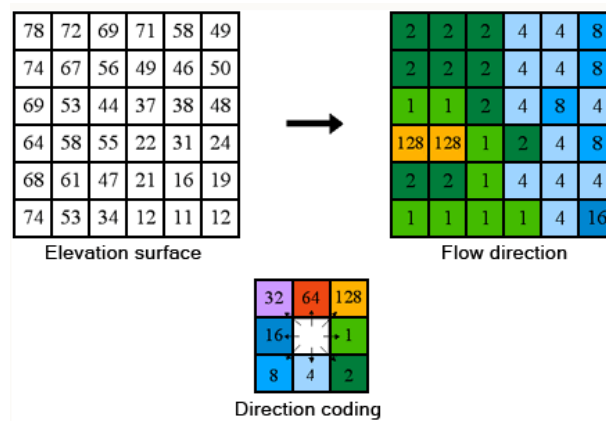


Figura 3.1 – Griglia delle direzioni di flusso

Le *Flow-Accumulation* definiscono cella per cella l'area contribuente in esse, ovvero la dimensione, nello specifico espressa in [mq], del bacino idrografico superficiale che afferisce alla cella.

3.2 LA SCABREZZA IDRAULICA

La scabrezza, elemento chiave nella definizione delle componenti che oppongono resistenza al moto - quali ostruzioni, irregolarità superficiali e vegetazione - regola come conseguenza tiranti idrici e velocità di scorrimento. A causa dell'impossibilità di condurre misurazioni in campo e su larga scala di tale parametro ed a causa dell'assenza di dati utili alla calibrazione, la valutazione è generalmente condotta facendo ricorso a valori desunti dalla letteratura tecnica di settore [Chow 1959; Barnes 1967; Arcement and Schneider 1989].

L'opportunità di definire con accuratezza i valori dell'indice di Manning, comunemente adoperato per stimare la resistenza al flusso, nasce dall'elevata sensibilità che i tiranti e le velocità hanno in relazione a questo parametro, secondo il legame rappresentato dalla formula di Manning in equazione 3.1:

$$Q = V\Omega = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \Omega$$

Equazione 3.1

dove V è la velocità media nella sezione trasversale, pari alla portata fratto l'area interessata dal flusso Ω , n è l'indice di Manning, R il raggio idraulico e I la pendenza del fondo dell'alveo.

Si riporta a titolo di esempio nelle figure seguenti la variazione dei tiranti e delle velocità in una lama tipica del territorio di Bari al variare dell'indice di Manning adoperato, incrementandolo da un minimo di 0.03 ed un massimo di 0.2, valori comunemente associati rispettivamente ad alvei privi di vegetazione e a quelli fortemente inerbiti. Nello specifico, in figura 3.2 è rappresentata la variazione percentuale dei tiranti e delle velocità corrispondente all'incremento dell'indice di Manning dal valore 0.03 ai valori 0.05, 0.10, 0.15 e 0.2. Tale analisi è condotta al variare del tempo di ritorno e quindi della magnitudine delle grandezze idrodinamiche in gioco. Si evidenzia che aumentando la scabrezza di soli 0.02 punti, la variazione dei tiranti è dell'ordine del 20% e tale valore cresce linearmente fino a raddoppiare il valore stesso del tirante passando da una condizione di alveo pulito ad una di alveo fortemente vegetato. Al contrario la velocità si riduce dal 30% al 70%. La sensibilità all'indice di Manning è inoltre tanto più importante quanto minore è la portata. In figura 3.3 sono esplicitati i valori dei tiranti e delle velocità, mediamente pari a 1 m e 3 m/s, per cui sono state calcolate tali percentuali.

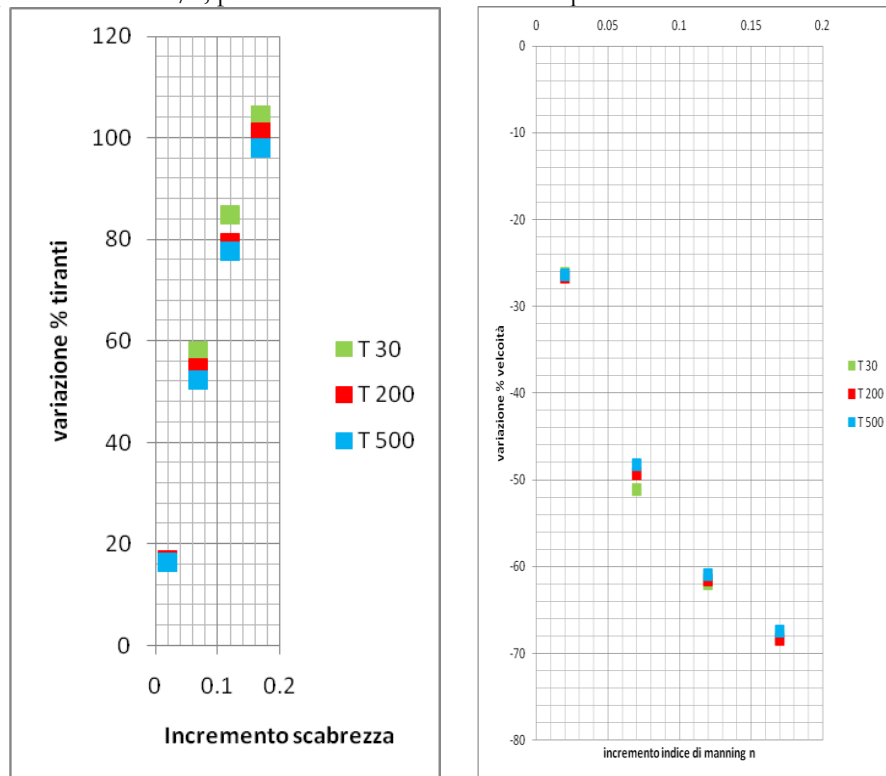


Figura 3.2 – Incrementi medi percentuali dei tiranti (a sinistra) e delle velocità (a destra) per i differenti tempi di ritorno in funzione della variazione dell'indice di Manning

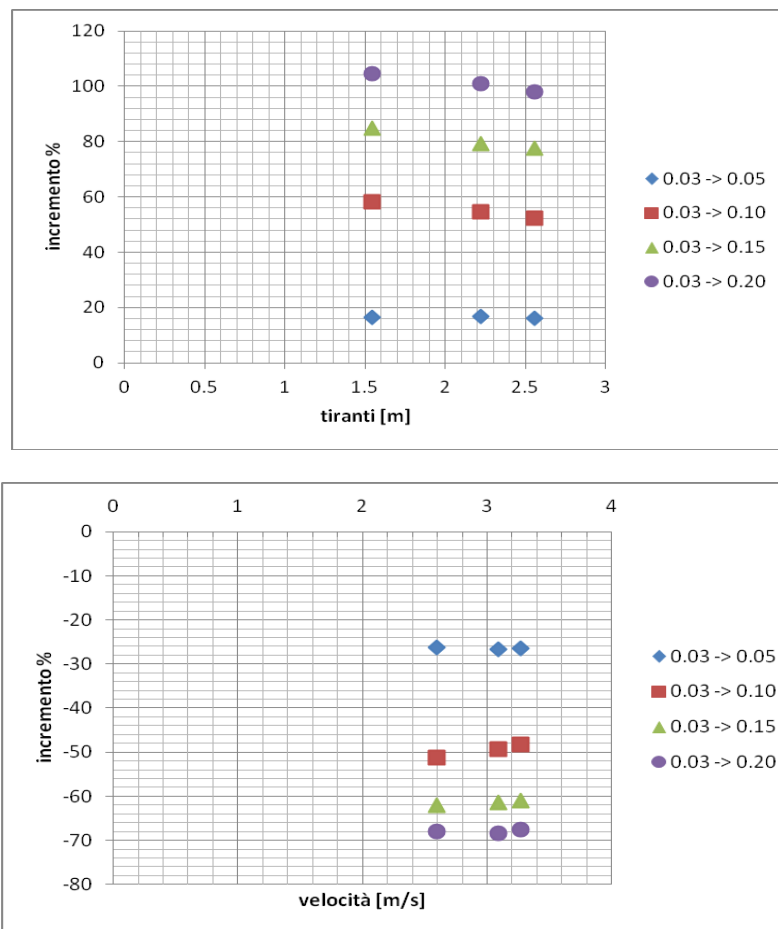


Figura 3.3 – Incrementi medi percentuali dei tiranti (in alto) e delle velocità (in basso) in relazione alla variazione dell'indice di Manning

3.2.1 Le componenti della resistenza al flusso

E' opportuno considerare che nei canali, e ancor più negli alvei naturali, alla resistenza del contorno si aggiungono altre fonti di perdita di energia dovute alla continua variazione di geometria del contorno (allargamenti, restringimenti, variazioni di forma, ostruzioni, ecc.), che non sono puntualmente valutabili. Per tale ragione, il loro effetto si suole valutarlo con un adeguato incremento del coefficiente di scabrezza. Per valutare la resistenza al moto in un alveo naturale, Cowen (1956) consiglia di sommare tra loro gli effetti di tutti i fattori che ostacolano la corrente, determinando il coefficiente di scabrezza di Manning con la relazione:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5 \quad \text{Equazione 3.2}$$

dove

- n_0 = valore base dell'indice di Manning relativo ad alveo naturale rettilineo, uniforme, privo di vegetazione;
- n_1 = fattore di correzione legato alle irregolarità superficiali;
- n_2 = valore relativo alle variazioni di forma e dimensione della sezione;
- n_3 = valore relativo alle ostruzioni;
- n_4 = valore legato allo stato vegetativo e alle condizioni di flusso;
- m = fattore di correzione legato alla sinuosità del corso d'acqua.

Quando la larghezza della sezione è sensibilmente più grande del tirante, gli effetti delle irregolarità superficiali, legate ad esempio all'erosione di fondo o alle radici degli alberi, devono essere tenuti in conto e possono dar luogo a significativi aggiustamenti dell'indice di Manning. Chow (1959) e Benson and Dalrymple (1967) mostrano che alle aree golenali severamente erose può essere associato un

incremento di scabrezza n_1 pari a 0.02, valore crescente all'aumentare delle irregolarità presenti sulla superficie.

Il valore della scabrezza non è affetto dalle variazioni di forma e dimensione quando queste sono graduali ed uniformi, mentre deve essere aumentato quando si alternano sezioni larghe e strette lungo il corso d'acqua e quando i cambiamenti di forma e le costrizioni si presentano ora su una sponda ora sull'altra. Tale incremento è proporzionale principalmente al numero di restringimenti e allargamenti e secondariamente alla magnitudine di questi cambiamenti. Gli effetti dei bruschi cambiamenti devono essere estesi a valle per diverse centinaia di metri. Un incremento massimo dell'indice di Manning n_2 per le variazioni di forma e dimensione che comunemente si trovano sui corsi d'acqua naturali è pari a 0.03 [Benson and Dalrymple, 1967].

Le ostruzioni, dovute a tronchi, ceppi, edifici, massi, rottami e macerie, o anche alle pile dei ponti, disturbano la corrente e quindi determinano un aumento della scabrezza. Tale incremento dipende dalla forma delle ostruzioni, dalla dimensione delle stesse in relazione alla dimensione della sezione, nonché dal loro numero, disposizione e distanza. Gli effetti delle ostruzioni sulla scabrezza sono tuttavia anche funzione della velocità. Generalmente per pendenze leggere e moderate tale influenza si estende dalle tre alle cinque volte la larghezza dell'ostruzione. Inoltre, numerose ostruzioni disposte lungo il corso d'acqua possono creare sfere di influenza che si sovrappongono tra loro creando disturbi rilevanti alla corrente, sebbene per ogni sezione esse vadano ad occupare solo una piccola parte. Chow (1959) assegna un valore correttivo dell'indice di Manning n_3 a quattro livelli di ostruzione: non significativo, minore, apprezzabile, rilevante.

L'influenza della vegetazione sull'indice di Manning dipende da una serie di elementi, quali l'altezza del tirante idrico, la percentuale del perimetro bagnato coperto da vegetazione, la densità della stessa sotto il livello idrico, la flessibilità della vegetazione in relazione alla spinta della corrente e l'allineamento rispetto al flusso. Ad esempio, filari di vegetazione paralleli al flusso determinano, a parità di ogni altra circostanza, una resistenza al flusso minore rispetto a filari disposti perpendicolarmente. Se il canale è relativamente stretto e le aree golenali sono ripide, coperte da vegetazione densa, l'incremento di scabrezza n_4 può raggiungere il valore di 0.03. Valori più grandi sono applicati solo laddove la vegetazione copre la maggior parte del corso d'acqua.

Il fattore m legato alla sinuosità dipende dal rapporto tra la lunghezza del corso d'acqua misurata seguendo la sua sinuosità e la lunghezza in linea d'aria. Se tale rapporto è compreso tra 1.0 e 1.2 la sinuosità è considerata minore; è invece apprezzabile se varia tra 1.2 e 1.5; mentre è significativa se il rapporto è maggiore o uguale di 1.5. Secondo Chow (1959), la sinuosità può incrementare il valore dell'indice di Manning più del 30% laddove il flusso è ben confinato.

I valori di tali addendi sono riportati nelle tabelle 2 e 3 del manuale "*Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains*" [Arcement, Jr. and V.R. Schneider, 1989].

3.2.2 La resistenza in regime di ruscellamento superficiale

Per il ruscellamento superficiale bisogna prestare particolare attenzione alla scelta del valore dell'indice di Manning. In tale condizione infatti i tiranti sono dello stesso ordine di grandezza degli elementi che determinano la scabrezza superficiale, ovvero di pochi centimetri. In tal caso si parla di sheet-flow o shallow-flow. Nonostante la letteratura scientifica sia molto ricca di dati in merito alla scabrezza in condizioni di flusso incanalato (tiranti dell'ordine di 1 metro), poche informazioni sono presenti per valutare l'indice di Manning nel caso di correnti distribuite su superfici naturali con tiranti molto modesti [Engman, 1986].

In tabella 3.2 (Engman, 1986) si riportano alcuni valori di letteratura direttamente riferibili ad una lama d'acqua di altezza inferiore a 0.02 - 0.03 m, limite entro il quale si considera congruo il riferimento al ruscellamento superficiale.

Tabella 3.1 - Indice di Manning per il ruscellamento superficiale, stimati secondo la metodologia di Engman (1986) in corrispondenza di un tirante inferiore a 0.03 m

Surface description	<i>n</i> ^{1/2}
Smooth surface (concrete, asphalt, gravel, or bare soil).....	0.011
Fallow (no residue).....	0.05
Cultivated soils:	
Residue cover ≤ 20%.....	0.06
Residue cover > 20%.....	0.17
Grass:	
Short-grass prairie.....	0.15
Dense grasses ^{2/3}	0.24
Bermudagrass.....	0.41
Range (natural).....	0.13
Woods: ^{2/3}	
Light underbrush.....	0.40
Dense underbrush.....	0.80

3.2.3 Attribuzione dell'indice di Manning alle categorie di uso del suolo

Al fine di fornire un valido strumento per la scelta dell'indice di Manning, utilizzando noti riferimenti della letteratura scientifica di settore (Arcement e Schneide, 1989; Barnes, 1967; Chow, 1959; Cowen, 1956; Engman, 1986; Huang, 2009; Linsley et al. 1982; Mills and Badcock, 2011; Paoletti, 2010; Phillips e Ingersoll, 1998; Van der Sande et. al., 2003) e tenendo in debito conto le considerazioni precedentemente esposte, è stata prodotta la tabella 3.3 in cui sono attribuiti i valori dell'indice di Manning alle classi di uso del suolo della Carta Tecnica Regionale in scala 1:5000. Per le aree esterne alla Regione Puglia, e nel caso specifico, per quelle ricadenti in Campania, si è fatto riferimento alle informazioni di uso del suolo della carta del Corinne 2006.

Nello specifico per ogni classe è individuato un valore minimo, uno medio e uno massimo per la condizione di channel-flow e un valore per la condizione di sheet-flow. Per una descrizione dettagliata si rimanda alla relazione allegata 3.2.

In particolare si vogliono qui considerare le classi di uso prevalenti presenti sui territori delle due provincie, ovvero frutteti, uliveti e vigneti, evidenziandone le differenze in termini di densità vegetativa, su cui si è anche basata la determinazione dei valori dell'indice di Manning. Le informazioni puntuali sulla vegetazione sono estrapolate dal modello digitale della vegetazione, creato mediante l'utilizzo del Laser Scanner Terrestre, nonché da un prodotto derivato dai LIDAR, definito CHM (*Canopy Height Model*), che si ottiene dalla sottrazione del DTM dal DSM (v. figura 3.4). In dettaglio, gli uliveti presentano una densità vegetativa pari al 10% sostanzialmente costante per tutta la loro altezza, mediamente di 5 m, così come dimostra la cumulata rappresentata dalla linea blu a pendenza costante in figura 3.5. I vigneti invece presentano una densità vegetativa inferiore allo 0.05% in corrispondenza dei tronchi; la stessa diviene invece massima, maggiore del 30%, in corrispondenza della chioma, all'altezza di 2 m. Il frutteto esaminato invece, con altezze variabili dai 2 ai 5 m, manifesta una densità vegetativa molto bassa, ovvero inferiore allo 0.05% sostanzialmente costante, a ragione del suo allineamento con la direzione di flusso, ben evidente in figura 3.7.

L'utilizzo della carta di Uso del Suolo consente dunque di ricavare una mappa spazialmente distribuita da adoperare sia per le modellazioni idrauliche monodimensionali che per quelle bidimensionali. Sulla base di tale mappa, nel dominio di calcolo 2D è dunque possibile assegnare, cella per cella, un diverso indice di scabrezza, il cui valore può essere costante o funzione del tirante idrico.

Quanto riferito ai valori di scabrezza in questo capitolo, con particolare riferimento alla tabella 3.2, rappresenta ciò che è stato adottato nel prosieguo del presente studio e perde di validità al di fuori di esso. Il valore dell'indice di Manning deve infatti essere sempre correlato alla risoluzione adottata per la modellistica idraulica.

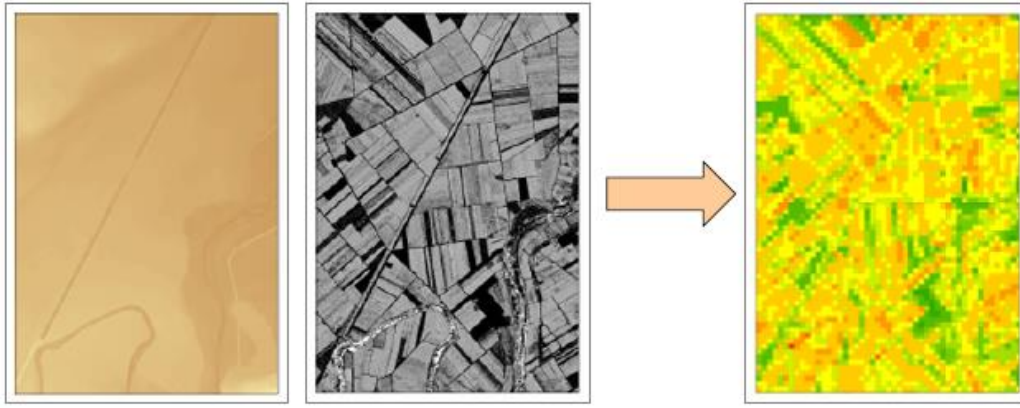


Figura 3.4 – Elaborazione sui DTM (prima immagine a sinistra) e DSM (seconda immagine a sinistra) per ottenere il CHM (a destra)

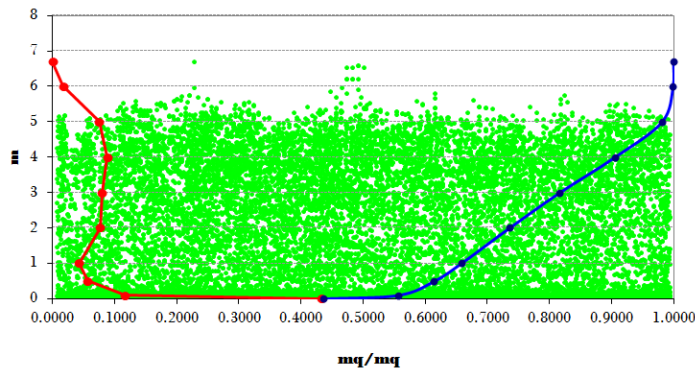


Figura 3.5 – Densità vegetativa degli uliveti

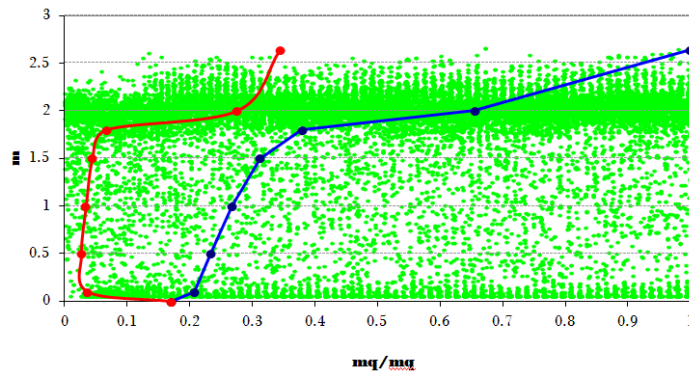


Figura 3.6 – Densità vegetativa dei vigneti

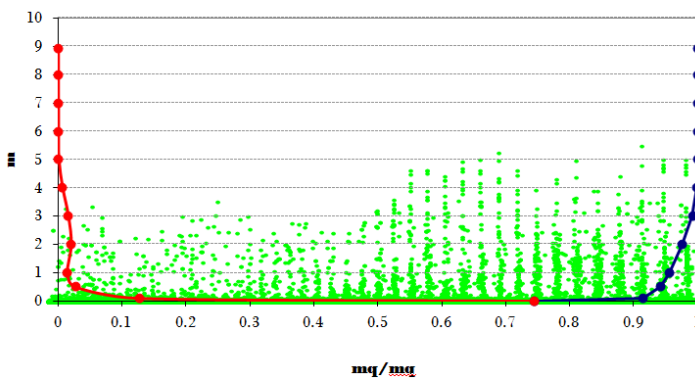


Figura 3.7 – Densità vegetativa dei frutteti

Tabella 3.2 - Indice di Manning per le categorie di uso del suolo della CTR Puglia 1:5000

Categoria di uso del suolo		CHANNEL-FLOW			SHEET-FLOW
		Min.	Norm.	Max	
0	Acquacolture	0.027	0.032	0.035	0.032
1	Altre colture permanenti	0.050	0.060	0.080	0.400
2	Aree a pascolo naturale, praterie, incolti	0.025	0.030	0.035	0.150
3	Aree a ricolonizzazione artificiale (rimboschimenti nella fase di novelleto)	0.070	0.100	0.160	0.800
4	Aree a ricolonizzazione naturale	0.040	0.060	0.080	0.400
5	Aree a vegetazione sclerofilla	0.058	0.085	0.135	0.600
6	Aree aeroportuali ed eliporti	0.054	0.054	0.054	0.011
7	Aree agroforestali	0.030	0.035	0.050	0.240
8	Aree archeologiche	0.100	0.120	0.140	0.011
9	Aree con vegetazione rada	0.030	0.035	0.050	0.240
10	Aree estrattive	0.100	0.120	0.140	0.050
11	Aree interessate da incendi o altri eventi dannosi	0.035	0.050	0.060	0.400
12	Aree per gli impianti delle telecomunicazioni	0.054	0.054	0.054	0.011
13	Aree portuali	0.054	0.054	0.054	0.011
14	Aree prevalentemente occupate da coltura agrarie con presenza di spazi naturali	0.035	0.050	0.070	0.170
15	Aree sportive (calcio, atletica, tennis, etc)	0.073	0.073	0.073	0.130
16	Aree verdi urbane	0.020	0.020	0.020	0.130
17	Bacini con prevalentemente utilizzazione per scopi irrigui	0.025	0.030	0.033	0.030
18	Bacini senza manifeste utilizzazioni produttive	0.025	0.030	0.033	0.030
19	Boschi di conifere	0.110	0.150	0.200	0.800
20	Boschi di latifoglie	0.100	0.120	0.160	0.400
21	Boschi misti di conifere e latifoglie	0.105	0.135	0.180	0.600
22	Campeggi, strutture turistiche ricettive a bungalows o simili	0.073	0.073	0.073	0.130
23	Canali e idrovie	0.015	0.025	0.035	0.025
24	Cantieri e spazi in costruzione e scavi	0.100	0.120	0.140	0.130
25	Cespuglieti e arbusteti	0.035	0.050	0.070	0.240
26	Cimiteri	0.150	0.150	0.150	0.011
27	Colture orticole in pieno campo in serra e sotto plastica in aree irrigue	0.060	0.070	0.080	0.011
28	Colture orticole in pieno campo in serra e sotto plastica in aree non irrigue	0.060	0.070	0.080	0.011
29	Colture temporanee associate a colture permanenti	0.030	0.040	0.050	0.170
30	Depositi di rottami a cielo aperto, cimiteri di autoveicoli	0.200	0.200	0.200	0.011
31	Discariche e depositi di cave, miniere, industrie	0.100	0.120	0.140	0.120
32	Estuari	0.025	0.030	0.033	0.030
33	Fiumi, torrenti e fossi	0.025	0.030	0.033	0.030
34	Frutteti e frutti minori	0.050	0.060	0.080	0.400
35	Grandi impianti di concentrazione e smistamento merci	0.200	0.200	0.200	0.011
36	Insedimenti ospedalieri	0.150	0.150	0.150	0.011
37	Insedimenti produttivi agricoli	0.100	0.100	0.100	0.011
38	Insedimento commerciale	0.200	0.200	0.200	0.011
39	Insedimento degli impianti tecnologici	0.100	0.100	0.100	0.011
40	Insedimento dei grandi impianti di servizi pubblici e privati	0.100	0.100	0.100	0.011
41	Insedimento in disuso	0.100	0.120	0.140	0.011
42	Insedimento industriale o artigianale con spazi annessi	0.200	0.200	0.200	0.011
43	Lagune, laghi e stagni costieri	0.040	0.040	0.040	0.040
44	Paludi interne	0.050	0.050	0.050	0.050
45	Paludi salmastre	0.040	0.040	0.040	0.040
46	Parchi di divertimento (acquapark, zoosafari e simili)	0.073	0.073	0.073	0.011
47	Prati alberati, pascoli alberati	0.035	0.050	0.060	0.400
48	Reti ed aree per la distribuzione, la produzione e il trasporto dell'energia	0.100	0.100	0.100	0.011
49	Reti ferroviarie comprese le superfici annesse	0.023	0.033	0.036	0.011
50	Reti stradali e spazi accessori	0.020	0.020	0.020	0.011
51	Rocce nude, falesie e affioramenti	0.030	0.040	0.047	0.050
52	Saline	0.040	0.040	0.040	0.040

Categoria di uso del suolo		CHANNEL-FLOW			SHEET-FLOW
		Min.	Norm.	Max	
53	Seminativi semplici in aree irrigue	0.030	0.040	0.050	0.170
54	Seminativi semplici in aree non irrigue	0.030	0.040	0.050	0.170
55	Sistemi colturali e particellari complessi	0.028	0.037	0.045	0.170
56	Spiagge, dune, sabbie	0.020	0.020	0.020	0.010
57	Suoli rimaneggiati e artefatti	0.100	0.120	0.140	0.050
58	Superfici a copertura erbacea densa	0.030	0.035	0.050	0.240
59	Tessuto residenziale continuo antico e denso	0.200	0.200	0.200	0.011
60	Tessuto residenziale continuo, denso più recente e basso	0.200	0.200	0.200	0.011
61	Tessuto residenziale continuo, denso, recente e alto	0.200	0.200	0.200	0.011
62	Tessuto residenziale discontinuo	0.100	0.100	0.100	0.011
63	Tessuto residenziale rado e nucleiforme	0.100	0.100	0.100	0.011
64	Tessuto residenziale sparso	0.100	0.100	0.100	0.011
65	Uliveti	0.050	0.060	0.080	0.400
66	Vigneti	0.080	0.100	0.120	0.400

Gli elaborati del presente studio non sono riutilizzabili né modificabili da soggetti terzi, per aree esterne a quelle del bacino del Cervaro.

Valutazioni idrologiche – IV

ALLEGATI



4.0 - Risultati delle analisi idrologiche

ARCHIVIO DIGITALE



4.0 - Analisi idrologiche (xls)



Obiettivo di questa fase è la stima delle portate idrologiche per i corsi d'acqua oggetto di studio, attraverso approcci metodologici di larga diffusione e comprovata validità scientifica.

4.1 MODELLI IDROLOGICI PER LA VALUTAZIONE DELLE PORTATE E DEI VOLUMI DI PIENA

Lo studio idrologico ha la finalità di definire le portate generate da un bacino idrografico in conseguenza ad eventi precipitativi straordinari con prefissato tempo di ritorno. Nello specifico, l'Autorità di Bacino della Puglia ha individuato i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni, per la definizione degli scenari rispettivamente di alta, media e bassa probabilità, così come definito dalla direttiva 2007/60/CE e dal decreto di recepimento D.Lgs. 49/2010, assumendo altresì come riferimento per la condizione di sicurezza idraulica lo scenario con tempo di ritorno di 200 anni.

Lo studio idrologico si compone delle seguenti fasi:

- analisi pluviometrica per la definizione dell'altezza totale di precipitazione;
- definizione della precipitazione netta, ovvero la componente di precipitazione che partecipa al deflusso, pari alla precipitazione totale depurata da quella che risulta persa in conseguenza a perdite idrologiche (immagazzinamento superficiale, vegetazione, evaporazione, infiltrazione);
- trasformazione afflussi-deflussi per il calcolo delle caratteristiche della piena.

L'analisi idrologica ha riguardato il bacino del torrente Cervaro a partire dalla sezione che sottende un bacino con area contribuyente uguale o maggiore di 25 km² sino alla confluenza con il T. Sannoro. In tale porzione di territorio è ricompreso anche un tratto di reticolo che è stato studiato contestualmente da questa Autorità (prot n. 3560 del 16.03.2015) e le cui proposte di variazione delle perimetrazioni a diversa pericolosità idraulica hanno già ricevuto approvazione in linea tecnica da parte della Commissione della Provincia di Foggia.

Il territorio a valle della confluenza con il T. Sannoro sino alla foce è stato oggetto di studio da parte di questa Autorità (prott. n. 13716 del 21.10.2013, n. 5449 del 05.05.2014, n. 6927 del 04.06.2014) in tempi diversi rispetto alla redazione del presente progetto. Le proposte di variazione delle perimetrazioni a diversa pericolosità idraulica hanno già ricevuto approvazione in linea tecnica da parte della Commissione della Provincia di Foggia. Pertanto, nel presente progetto l'analisi idrologica-idraulica non interesserà la suddetta porzione di territorio.

Con riferimento al bacino oggetto di studio, per l'individuazione delle caratteristiche pluviometriche dell'evento, si è operato in conformità a quanto previsto dal progetto Valutazione Piene (VaPi) del Gruppo Nazionale di Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche (GNDICI), mediante l'applicazione delle procedure di regionalizzazione.

Il territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia è suddiviso in 6 aree pluviometriche omogenee, per ognuna delle quali è possibile calcolare la Curva di Possibilità Pluviometrica. Nello specifico, i sottobacini ricadenti nel bacino del torrente Cervaro, interessano le zone omogenee 2, 3 e 4, per le quali valgono le seguenti equazioni:

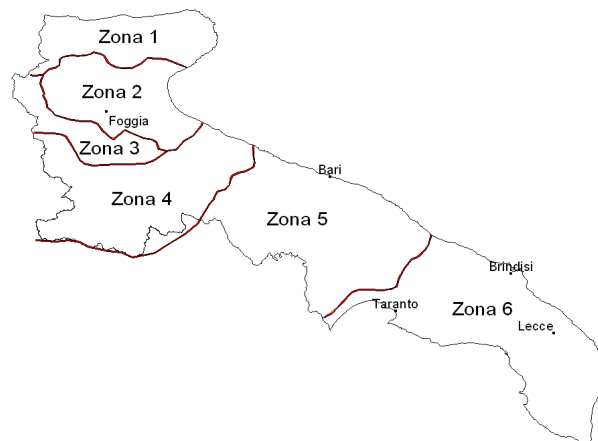


Figura 4.1 - Zone omogenee individuate dal Va.Pi. Puglia

$$\text{zona 2: } x(t) = 22,23 t^{0,247}$$

$$\text{zona 3: } x(t, \bar{x}) = 25,325 t^{[(0,696+0,000531\bar{x})/3,178]}$$

Equazioni 4.1

$$\text{zona 4: } x(t) = 24,70 t^{0,256}$$

dove t è il tempo caratteristico dell'evento relativo al modello idrologico adottato e \bar{x} è la quota media sul livello medio del mare del bacino idrografico. L'applicazione della formula della curva di possibilità pluviometrica consente la stima dell'altezza media di precipitazione espressa in mm.

All'analisi pluviometrica segue la valutazione delle portate al colmo di piena, mediante l'applicazione di modelli di trasformazione afflussi – deflussi che permettono di valutare la risposta dei bacini ad un determinato evento di pioggia.

Per tale analisi si è fatto ricorso al modello di regionalizzazione del Va.Pi. Puglia, basato sull'applicazione della formula razionale, attraverso un legame correlativo tra la piena indice x , la superficie del bacino ed il valore medio $I(tr)$ dei massimi annuali delle intensità di pioggia puntuali di durata pari al tempo di ritardo caratteristico del bacino. La formula assume la seguente espressione:

$$x = I(tr) \cdot A \cdot C^*/3.6$$

- x è la piena indice espressa in m^3/s ;
- C^* è il coefficiente probabilistico di piena;
- tr è il tempo di ritardo del bacino espresso in ore;
- $I(tr)$ è l'intensità dei massimi annuali delle intensità di pioggia puntuali di durata pari al tempo di ritardo caratteristico del bacino, espresso in mm/h.

Il coefficiente probabilistico di piena C^* porta in conto, oltre all'effetto naturale di laminazione del picco di piena rispetto al picco di pioggia, l'effetto della riduzione areale delle piogge e le perdite idrologiche nel bilancio di piena, dovute principalmente al fenomeno dell'infiltrazione nel suolo ed a quello dell'intercettazione da parte della vegetazione.

Nel caso oggetto di studio si è assunto per il coefficiente C^* il valore medio stimato dal Va.Pi. per l'intero bacino del Cervaro, pari a 0.381.

Per il tempo di ritardo del bacino, si è utilizzata la relazione proposta dal progetto Va.Pi. Puglia, per i bacini pugliesi, in cui A è la superficie del bacino in km^2 :

$$t_r = 0.344 A^{0.5}$$

Ai risultati ottenuti va applicato il fattore di crescita che contestualizza la piena all'evento considerato e il coefficiente di riduzione areale K_A .

Per il calcolo del coefficiente di crescita k_T relativo a ciascun bacino si può fare riferimento a quanto riportato nel Va.Pi. Puglia, utilizzando la distribuzione di probabilità di tipo TCEV (legge di distribuzione di probabilità del valore estremo a doppia componente) per la regionalizzazione delle piene:

$$F(y) = e^{-\Lambda_1 e^{-\eta y - \Lambda} \frac{1}{\Lambda_1} e^{\frac{-\eta y}{\theta}}}$$

con y variabile adimensionalizzata rispetto alla media $E[x]$, η rapporto tra $E[x]$ e θ_1 , $\theta = 2.654$, $\Lambda = 0.350$ e Λ_1 calcolato in funzione dell'area del bacino mediante la relazione in Figura 4.2. Il valore del tempo di ritorno T è legato alla probabilità cumulata dalla relazione:

$$T = \frac{1}{1 - F}$$

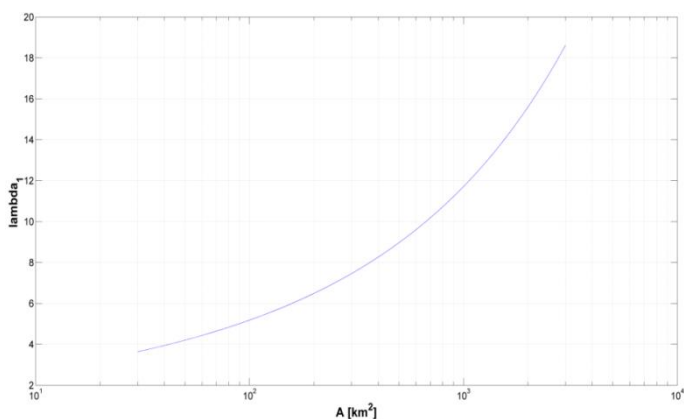


Figura 4.2 - Relazione tra il coefficiente Λ_1 e l'area del bacino

Il coefficiente di riduzione areale K_A che tiene conto della non contemporaneità dell'evento sull'intera estensione del bacino è così espresso:

$$K_A = 1 - (1 - e^{-(0.0021A)}) e^{-(0.53d)^{0.25}}$$

con d che rappresenta la durata dell'evento ed A la superficie del bacino considerato.

Con riferimento alle sezioni di calcolo indicate in Figura 4.3, i valori delle portate per i tre tempi di ritorno considerati (30, 200 e 500 anni) sono riportati in Tabella 4.2.

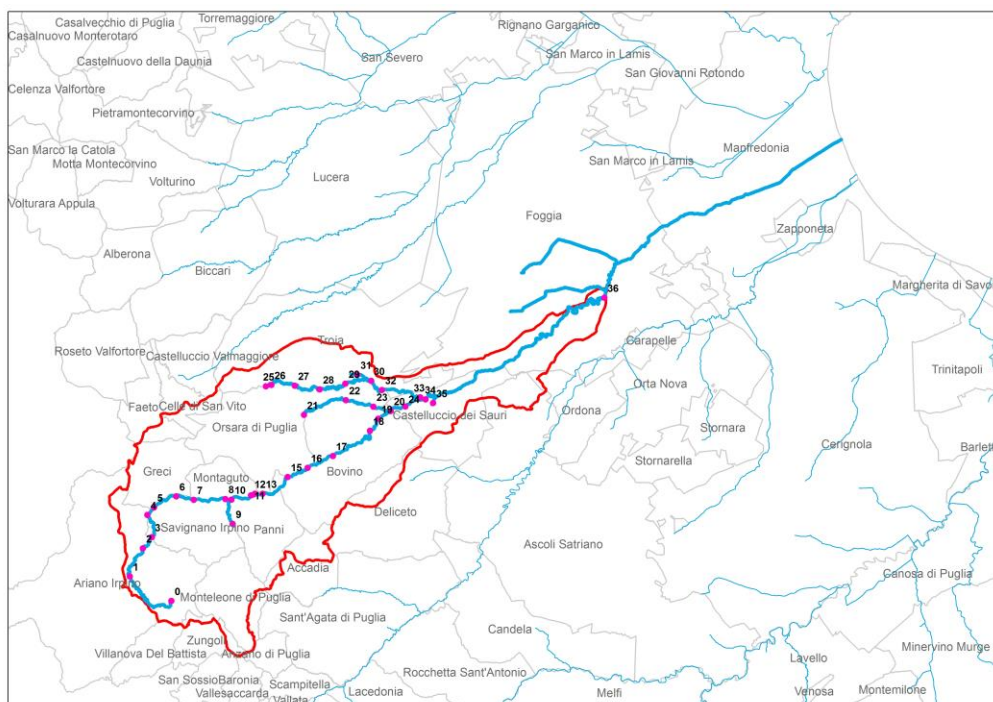


Figura 4.3 – Rappresentazione delle sezioni di calcolo della portata ed del bacino (in rosso) con sezione di chiusura a Cervaro incoronata

Tabella 4.2 – Caratteristiche idrologiche e morfologiche dei bacini idrografici ricadenti nel bacino del torrente Cervaro

Basin	Area [kmq]	t _r [h]	C*	Q ₃₀ [m ³ /s]	Q ₂₀₀ [m ³ /s]	Q ₅₀₀ [m ³ /s]	u ₃₀	u ₂₀₀	u ₅₀₀
0	39.63	2.17	0.381	159.18	261.40	311.66	4.02	6.60	7.86
1	50.58	2.45	0.381	180.39	295.71	351.76	3.57	5.85	6.95
2	61.7	2.70	0.381	200.12	325.83	387.96	3.24	5.28	6.29
3	78.61	3.05	0.381	225.39	366.26	435.87	2.87	4.66	5.54
4	88.26	3.23	0.381	238.63	387.12	460.48	2.70	4.39	5.22
5	110.72	3.62	0.381	266.12	430.20	511.23	2.40	3.89	4.62
6	119.11	3.75	0.381	275.73	445.33	528.57	2.31	3.74	4.44
7	135.45	4.00	0.381	292.96	471.18	559.18	2.16	3.48	4.13
8	148.28	4.19	0.381	304.81	490.50	582.76	2.06	3.31	3.93
9	30.97	1.91	0.380	139.93	230.16	275.04	4.52	7.43	8.88
10	185.31	4.68	0.381	336.37	540.55	640.03	1.82	2.92	3.45
11	187.81	4.71	0.381	338.65	542.89	644.35	1.80	2.89	3.43
12	196.78	4.83	0.381	346.64	554.36	656.87	1.76	2.82	3.34
13	202.16	4.89	0.381	349.96	560.48	664.38	1.73	2.77	3.29
15	237.78	5.30	0.381	374.53	599.54	709.09	1.58	2.52	2.98
16	245.8	5.39	0.381	381.10	608.56	720.03	1.55	2.48	2.93
17	253.6	5.48	0.381	386.36	617.86	731.32	1.52	2.44	2.88
18	283.57	5.79	0.381	409.58	651.09	770.21	1.44	2.30	2.72
19	296.61	5.92	0.381	417.40	664.50	786.38	1.41	2.24	2.65
20	332.26	6.27	0.381	437.91	695.71	822.85	1.32	2.09	2.48
21	26.64	1.78	0.381	131.57	216.89	259.11	4.94	8.14	9.73
22	31.16	1.92	0.381	143.53	236.08	281.61	4.61	7.58	9.04
23	33.31	1.99	0.381	148.97	244.85	291.76	4.47	7.35	8.76
24	341.03	6.35	0.381	443.42	702.68	831.42	1.30	2.06	2.44
25	33.15	1.98	0.381	145.71	239.49	285.37	4.40	7.22	8.61
26	38.77	2.14	0.381	158.62	260.11	310.02	4.78	7.85	9.35
27	41.75	2.22	0.381	165.07	270.85	322.58	4.26	6.99	8.32
28	48.45	2.39	0.381	179.18	293.32	349.44	4.29	7.03	8.37
29	51.76	2.47	0.381	185.83	303.96	361.70	3.84	6.27	7.47
30	84.24	3.16	0.381	240.48	390.44	464.09	4.65	7.54	8.97
31	29.81	1.88	0.381	142.07	233.86	279.27	1.69	2.78	3.32
32	89.54	3.26	0.381	246.54	399.94	474.82	8.27	13.42	15.93
33	99.49	3.43	0.381	236.88	421.34	500.95	2.65	4.71	5.59
34	441.82	7.23	0.381	493.43	780.59	920.12	1.12	1.77	2.08
35	29.12	1.86	0.381	139.49	230.08	247.34	1.40	2.31	2.49
36	527.15	7.90	-	508.39	801.91	946.35	0.96	1.52	1.80

4.2 IL VOLUME MASSIMO DI PROGETTO

Per la ricostruzione dell'andamento della portata nel tempo, sono stati adottati idrogrammi triangolari (Figura 4.4), con ramo ascendente fino al tempo t_A (tempo di accumulo) e ramo discendente fino al tempo t_B (somma del tempo di accumulo e del tempo di esaurimento), con t_A e t_B calcolati utilizzando le seguenti espressioni:

$$t_A = \frac{t_B}{2.67}$$

$$t_B = \frac{2 \cdot V_{\max}}{Q_{\max}}$$

dove Q_{\max} è la portata di picco e V_{\max} è il massimo volume idrico transitante nella sezione di chiusura in oggetto. Per il calcolo di V_{\max} si è adottata la relazione proposta da Fiorentino (1985) nell'ipotesi che la curva di riduzione dell'onda di piena sia rappresentabile attraverso un'equazione di tipo esponenziale, ottenuta nell'ipotesi di invaso lineare per la trasformazione afflussi-deflussi:

$$\epsilon_d = \frac{Q_d}{Q_{\max}} = \frac{k}{d} \cdot \left(1 - e^{-\frac{d}{k}}\right)$$

dove Q_d è la massima portata media transitante nella finestra temporale d e k è un parametro legato all'esponente n della curva di possibilità pluviometrica e al tempo di ritardo t_L (calcolato in funzione dell'area del bacino utilizzando l'espressione proposta nel Va.Pi. Puglia):

$$k = 1.027 \cdot t_L \cdot e^{2.277n}$$

$$t_L = 0.344 \cdot A^{0.5}$$

In particolare, si impone che il volume massimo sotteso dall'idrogramma per ogni intervallo di durata d sia pari al prodotto del parametro di riduzione ϵ moltiplicato per il valore della portata al colmo Q_{\max} e che V_{\max} sia il volume relativo alla durata che non dà luogo a incrementi volumetrici maggiori dello 0.005%.

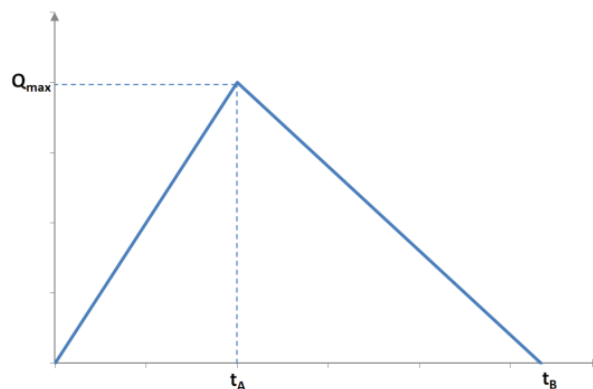


Figura 4.4- Idrogramma triangolare

Gli elaborati del presente studio non sono riutilizzabili né modificabili da soggetti terzi, per aree esterne a quelle del bacino del Cervaro.

Modellazione idraulica – V

ALLEGATI



- 5.0 - Schedario dei modelli idraulici
- 5.1.1 - Risultanze idrauliche 2D, T200, Cervaro TAV.1
- 5.1.2 - Risultanze idrauliche 2D, T200, Cervaro TAV.2
- 5.1.3 - Risultanze idrauliche 2D, T200, Cervaro TAV.3
- 5.1.4 - Risultanze idrauliche 2D, T200, Cervaro TAV.4
- 5.1.5 - Risultanze idrauliche 2D, T200, Cervaro TAV.5

ARCHIVIO DIGITALE



```
\SCHEDARIO MODELLI
\CODICE_CORSO D'ACQUA
  \AREE_2D\Aree 2d (shp)
  \ATTRAV_IDRA\AttravIdr (shp)
  \CRITICITA'
  Attraversamenti critici (shp)
  Interventi (shp)
  Interventi strutturali (shp)
  \DEM\Dem Lidar (raster)
  \HEC-RAS
  \IDROLOGIA
    \BACINI\Bacini (shp)
    \IDROGRAMMI\IDRO30,200,500 (txt)
    REPORT (xls)
    SezioniQ (shp)
  \MANNING\Manning_1D_n_max,min,norm (txt)
  \OUTPUT_1D\d30,200,500 e v30,200,500 (raster)
  \OUTPUT_2D\AREA_2D\d30,200,500 e v30,200,500 (raster)
  \PreRAS\ (mdb)
  \RETICOLO_25_KMQ\net_25kmq (shp)
  \TUFLOW\modelli (zip)
```



Obiettivo di questa fase è la modellazione del comportamento idraulico dei corsi d'acqua oggetto dello studio, in diverse condizioni di moto, attraverso l'ausilio di opportuni codici di calcolo, anche bidimensionale, preventivamente selezionati e sperimentati. Viene quindi dapprima fornita una descrizione teorica dei modelli mono e bidimensionali utilizzati. Successivamente sono rappresentati i modelli realizzati per i corsi d'acqua analizzati con indicazione delle condizioni al contorno, ovvero le portate idriche per i diversi tempi di ritorno, e dei parametri di scabrezza, nonché dell'analisi delle risultanze dei modelli mono e bidimensionali, sia in termini di valutazione dell'efficienza idraulica delle opere di attraversamento delle reti viarie, che in termini di valutazione delle aree a rischio.

5.0 INTRODUZIONE

In questo capitolo è descritta l'attività di modellazione idraulica, dedicata all'implementazione dei modelli numerici con schematismo monodimensionale e bidimensionale (schedati all'allegato 5.0), operata in funzione delle peculiarità del territorio e delle esigenze specifiche di analisi e rappresentazione, con il fine ultimo di individuare le criticità connesse all'assetto idraulico del territorio.

L'analisi idraulica ha interessato l'asta principale del Torrente Cervaro e i suoi affluenti a partire dalla sezione che sottende un bacino con area contribuyente uguale o maggiore di 25 km² sino alla confluenza con il T. Sannoro. In tale porzione di territorio è ricompreso anche un tratto di reticolo che è stato studiato contestualmente da questa Autorità (prot n. 3560 del 16.03.2015) e le cui proposte di variazione delle perimetrazioni a diversa pericolosità idraulica hanno già ricevuto approvazione in linea tecnica da parte della Commissione della Provincia di Foggia.

Il territorio a valle della confluenza con il T. Sannoro sino alla foce è stato oggetto di studio da parte di questa Autorità (prott. n. 13716 del 21.10.2013, n. 5449 del 05.05.2014, n. 6927 del 04.06.2014) in tempi antecedenti alla redazione del presente progetto. Le proposte di variazione delle perimetrazioni a diversa pericolosità idraulica hanno già ricevuto approvazione in linea tecnica da parte della Commissione della Provincia di Foggia. Pertanto, nel presente progetto l'analisi idraulica non interesserà la suddetta porzione di territorio.

Gli studi qui condotti sono da ritenersi validi per le finalità del presente lavoro, mentre non hanno valenza di studi definitivi per l'aggiornamento delle perimetrazioni del PAI – assetto idraulico. Essi infatti sono coerenti con i principi della Relazione di Piano, tuttavia necessitano di ulteriori approfondimenti, quali ad esempio rilievi di maggiore dettaglio e verifiche sul campo, secondo le accurate modalità proprie della Segreteria Tecnica Operativa.

I rilievi alla base della modellistica idraulica (sia per la definizione della morfologia dei corsi d'acqua che della geometria degli attraversamenti) derivano dai dati acquisiti dall'Autorità di Bacino così come descritti nel capitolo II, ovvero rilievi LIDAR e rilievi delle opere di attraversamento idraulico realizzati appositamente per il presente studio. Non si esclude dunque che alcune delle problematiche di sicurezza idraulica che ne emergono siano già state oggetto di analisi con l'individuazione di progetti di mitigazione del rischio, sulla quale questa Autorità ha espresso un proprio parere di competenza, ma che di fatto non hanno ancora prodotto una risolutiva modifica dello stato dei luoghi. Si ritiene invece opportuno non condurre analisi idrauliche laddove i rilievi in possesso risultano difformi dalla conoscenza dei luoghi (stato di fatto o in evoluzione per effetti di progetti in corso) disponibile nel periodo di riferimento mediano tra le date di inizio e conclusione delle attività di redazione.

Per ciascun bacino esaminato, al fine di fornire una descrizione esaustiva del modello idraulico realizzato, sono presentati sei sottoparagrafi, illustrati con maggior dettaglio a seguire, contenenti i) la descrizione geografica e morfologica del bacino, ii) le scelte legate al parametro di scabrezza, iii) le portate idrologiche del modello, iv) lo schematismo idraulico adottato per la rappresentazione della pericolosità idraulica, v) l'analisi delle opere di attraversamento idraulico e vi) le criticità urbane ed industriali individuate dalle risultanze del modello.

1. Descrizione geografica e morfologica

Si descrive il corso d'acqua in relazione alle sue caratteristiche morfologiche e al suo sviluppo sui territori delle provincie di Avellino e Foggia.

2. Scabrezza

Sono rappresentate le caratteristiche di uso del suolo con relativa documentazione fotografica, al fine di avere rapida contezza della resistenza al flusso negli alvei e nelle aree contermini oggetto di analisi. In generale si è adottato, tra i valori proposti al paragrafo 3.2.3, quello relativo alla condizione media, ai fini di adottare cautela nei confronti di entrambe le due grandezze idrodinamiche esaminate, considerando che un indice di Manning più basso, rappresentativo di una resistenza al flusso minore, determina una riduzione dei tiranti idrici con contestuale aumento della velocità di scorrimento; mentre un indice di Manning più alto, rappresentativo di una resistenza al flusso maggiore, determina l'effetto opposto. La scelta del valor medio dell'indice di Manning appare tanto più ponderata, rispetto ad una scelta di maggior cautela in relazione all'estensione delle aree a pericolosità idraulica, se si

considera che la resistenza massima al flusso, che giustificerebbe l'adozione dell'indice di Manning di valore massimo, è in generale offerta quando lo stato vegetativo è più denso, condizione che si verifica solitamente nei periodi estivo-primaverili, quando l'occorrenza di eventi precipitativi estremi è ridotta rispetto alle altre stagioni.

3. Portate

Si riportano le portate di piena per le varie sezioni di chiusura esaminate lungo il corso d'acqua, indicate nelle cartografie allegate (da 5.1.1 a 5.1.5). Nel dettaglio la tabella riporta tutti i parametri geoidromorfologici che concorrono alla stima idrologica, oltreché l'individuazione delle sezioni del modello idraulico utilizzate come condizioni al contorno corrispondenti. E' inoltre rappresentato l'andamento del coefficiente udometrico in funzione dell'area contribuente per i differenti tempi di ritorno, al fine di ottenere una stima rapida di prima approssimazione delle portate nelle varie sezione di chiusura lungo il reticolo del bacino idrografico.

4. Schematismo idraulico

E' indicata la tipologia di modellistica idraulica adottata, in funzione delle caratteristiche morfologiche dell'area esaminata. In particolare si rappresenta che i modelli numerici adoperati sono a fondo fisso (validi per pendenze di fondo non troppo elevate, non superiori al 10%). Una descrizione degli schematismi idraulici monodimensionali e bidimensionali è offerta ai sottoparagrafi 5.0.1 e 5.0.2. Si precisa inoltre che lo schematismo 1D è accoppiato ad un regime di moto permanente, mentre lo schematismo 2D ad un regime di moto vario. Nello specifico nelle cartografie allegate (da 2.4.1a a 2.4.1f) sono riportate le rappresentazioni vettoriali di modelli geometrici con schematismo 1D, nonché individuate le aree che necessitano l'adozione di una modellistica 2D. Queste aree sono elencate in una tabella, in cui sono specificate, nei diversi campi, a) le ragioni che determinano la necessità dell'utilizzo del bidimensionale, b) la tipologia degli esposti nell'area e c) la priorità della redazione di uno studio bidimensionale. In quest'ultimo campo si assegna valore 0 a quelle aree dove, pur non essendo corretto l'utilizzo dello schematismo 1D, non risulta necessario un elevato dettaglio di rappresentazione della pericolosità idraulica; il valore 0.5 è associato a quelle aree dove è necessaria una modellistica idraulica bidimensionale al fine di determinare correttamente l'estensione delle aree allagate e delle grandezze idrodinamiche in gioco; mentre il valore 1 è assegnato quando la modellistica bidimensionale diviene fondamentale per l'individuazione delle opere necessarie alla messa in sicurezza dove sono presenti esposti di natura rilevante. Le simulazioni idrauliche in campo bidimensionale, di più complessa applicazione rispetto al monodimensionale, sono state quindi condotte in aree con priorità pari a 1 e 0.5.

5. Analisi delle opere di attraversamento idraulico

Si analizzano nel dettaglio le opere di attraversamento idraulico delle infrastrutture viarie oggetto del censimento, essendo tali intersezioni con il reticolo idrografico punti di particolare criticità. La vulnerabilità dei ponti è valutata in relazione al loro comportamento idraulico in regime di piena, classificato schematicamente in luce di sbocco non sommerso, sbocco sommerso e sormonto. Non è invece condotta alcuna valutazione sulla vulnerabilità strutturale o legata a fenomeni di permeazione, erosione o trasporto, la quale non attiene alle competenze del presente studio. Non è possibile escludere dunque che attraversamenti ritenuti verificati possano determinare situazioni di criticità diverse da quelle qui esaminate.

NOTA: Gli attraversamenti classificati come NC, qualora non verificati, sono stati anch'essi oggetto di classificazione per la successiva fase di valutazione preliminare degli interventi.

6. Criticità urbane / industriali

Si offre una rapida descrizione delle criticità evidenziate in relazione alla sovrapposizione delle aree a pericolosità idraulica con le infrastrutture viarie e gli insediamenti residenziali e produttivi.

Per ciascun corso d'acqua sono riportati nelle cartografie allegate le risultanze degli studi idraulici, in termini di massimo valore del tirante idrico, relativo allo scenario con tempo di ritorno di 200 anni – di riferimento per la sicurezza idraulica -, con individuazione contestuale delle sezioni di inserimento delle portate, del regime idraulico degli attraversamenti e delle aree che necessitano di schematismo di tipo 2D. In [ALL_5_MODELLI_IDRAULICI] sono invece allegate le risultanze complete prodotte, ovvero le mappe raster di tiranti idrici e delle velocità di scorrimento per gli scenari aventi tempo di ritorno di 30,

200 e 500 anni, oltreché i modelli Hec-Ras realizzati e tutti gli elementi utili alla definizione degli studi idrologico-idraulici.

5.0.1 Schematismo 1D e 2D

I modelli matematici per la rappresentazione dei fenomeni di propagazione delle piene possono essere ad una oppure a due dimensioni. Nei modelli monodimensionali il sistema è rappresentato da una serie di sezioni trasversali, che si sviluppano tra alveo e golena, all'interno delle quali i tiranti idrici e le velocità di scorrimento sono assunte in ogni punto costanti. I modelli idraulici bidimensionali sono capaci di considerare, a differenza dei monodimensionali, anche le componenti della velocità ortogonali alla direzione dell'asse dell'alveo e quindi in grado di descrivere fenomeni di flusso che si sviluppano nel piano, fornendo in ogni punto la direzione e l'intensità della velocità media sulla verticale.

Il territorio pugliese è caratterizzato da tratti a morfologia definita, alternati a zone in cui invece non è possibile definire univocamente la direzione di flusso. Per tale ragione è opportuno accoppiare schemi di calcolo idraulici monodimensionali a schemi di tipo bidimensionale.

Per lo sviluppo della modellistica di tipo monodimensionale è stato scelto il software HEC-RAS della U.S. Army Corps of Engineering, di comprovata affidabilità e di distribuzione gratuita. Per la modellistica di tipo bidimensionale ci si è avvalsi del codice di calcolo noto con l'acronimo di TUFLOW (Two-dimensional Unsteady FLOW) della BMT WBM, con interfaccia SMS v.10.0, commercializzato dalla Aquaveo Llc, di cui l'Autorità di Bacino della Puglia ha acquisito regolare licenza d'uso nell'ambito del progetto. Essendo l'HEC-RAS un codice di calcolo largamente utilizzato a livello mondiale e del quale è possibile reperire in maniera libera ogni informazione, nel sottoparagrafo successivo verrà offerta una completa descrizione del solo codice di calcolo TUFLOW.

5.0.2 Il modello di calcolo TUFLOW

La definizione della pericolosità idraulica è stata operata, laddove necessario, mediante l'utilizzo di un modello di calcolo idraulico bidimensionale in grado di definire componenti della velocità ortogonali alla direzione dell'asse principale del corso d'acqua e quindi di descrivere fenomeni di moto che si sviluppano nel piano x-y, fornendo in ogni punto la direzione e l'intensità della velocità mediata nella direzione verticale z.

Il modello utilizzato è noto con l'acronimo di TUFLOW (Two-dimensional Unsteady FLOW) della BMT WBM, con interfaccia SMS v.10.0, commercializzato dalla Aquaveo Llc, di cui l'Autorità di Bacino della Puglia ha acquisito regolare licenza d'uso. Tale strumento è tra i più moderni ed efficienti codici di calcolo nel campo dell'idrodinamica.

Il TUFLOW è specifico per le simulazioni idrauliche bidimensionali delle correnti a superficie libera e risulta quindi atto a descrivere comportamenti idrodinamici in ambienti come aree costiere, estuari, fiumi, pianure alluvionali e aree urbane, dove le complesse direzioni di flusso non sono correttamente rappresentabili mediante i tradizionali modelli monodimensionali.

Il modello è stato sviluppato da una ricerca congiunta tra la WBM Oceanics Australia e l'Università del Queensland nel 1990. Nato come modello idraulico puramente bidimensionale, oggi incorpora anche le funzionalità del sistema ESTRY, basato sulle equazioni complete monodimensionali, ed implementa il legame dinamico 1D/2D, che offre al modello maggiore versatilità e stabilità. Il TUFLOW è stato inoltre sottoposto a diversi ed intensi test di validazione, che ne certificano l'affidabilità.

Altre caratteristiche, che hanno determinato la sua scelta da parte di questa Autorità, sono la rappresentazione di domini multipli 2D, la rappresentazione delle strutture idrauliche 1D e 2D, la simulazione delle correnti supercritiche 1D e 2D, l'interfaccia con il GIS e gli accurati strumenti di controllo della qualità degli output.

Da un punto di vista analitico, il TUFLOW fornisce le soluzioni delle equazioni monodimensionali e bidimensionali delle acque basse (o Shallow Water), conosciute anche come equazioni complete di De Saint Venant, utilizzate per simulare la propagazione dell'onda nelle correnti a superficie libera.

Tali equazioni derivano dalle equazioni di Navier-Stokes e sono impiegate per modellare onde lunghe, come quelle delle alluvioni e delle onde oceaniche, in quanto si basano sull'ipotesi che la

componente orizzontale della velocità sia uniforme lungo la verticale e sull'ipotesi di assenza di accelerazione verticale (ipotesi di distribuzione idrostatica delle pressioni), assunzioni valide dove la dimensione dell'onda è maggiore di quella del tirante idrico.

Le equazioni di shallow water valide in campo bidimensionale sono descritte dalle equazioni differenziali parziali della continuità della massa e della conservazione della quantità di moto nella direzione X, parallela all'asse dell'alveo, e Y, normale all'asse dell'alveo, in moto vario::

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial(Hu)}{\partial x} + \frac{\partial(Hv)}{\partial y} = 0 \quad (\text{Eq. continuità}) \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - c_f v + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + g u \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{C^2 H} - \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = F_x \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + c_f u + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + g v \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{C^2 H} - \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = F_y \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} (\text{Eq. moto lungo X}) \\ (\text{Eq. moto lungo Y}) \end{array}$$

dove ζ = elevazione del pelo libero
 u e v = componenti della velocità mediate lungo la verticale nelle direzioni X e Y
 H = tirante del pelo libero
 t = tempo
 x e y = distanze nelle direzioni X e Y
 c_f = coefficiente della forza di Coriolis
 C = coefficiente di Chezy
 μ = coefficiente di viscosità
 p = pressione atmosferica
 ρ = densità dell'acqua
 F_x e F_y = somma delle componenti delle forze esterne nelle direzioni X e Y

In riferimento all'equazione del moto sia lungo la direzione X sia lungo Y, si precisa quanto segue.

I primi tre termini rappresentano i termini inerziali e più precisamente il primo dà conto dell'inerzia locale, mentre il secondo e il terzo rappresentano quella convettiva.

Il quarto termine rappresenta la forza di Coriolis. Questa è una forza apparente, legata all'accelerazione generata dalla rotazione terrestre ed, in termini matematici, ha la forma seguente:

$$F_C = -2m\omega \times v$$

ove m è la massa del corpo che si muove con velocità v rispetto al sistema di riferimento rotante con velocità angolare ω . Esplicitando la dipendenza dell'angolo α , formato dall'asse di rotazione del sistema di riferimento con la direzione della velocità del corpo, l'intensità della forza vale:

$$F_C = 2m\omega v |\text{sen} \alpha| = c_f \cdot v$$

Con riferimento alle simulazioni condotte, si precisa che tale termine è stato considerato pari a 0.

Il quinto termine rappresenta la variazione del pelo libero nella direzione considerata.

Il sesto termine è la pendenza della linea dell'energia come determinata dalla resistenza al contorno. Il coefficiente C è determinato mediante l'equazione di Manning, che lo pone in relazione con un indice di scabrezza n e con il raggio idraulico R , ovvero con la scabrezza relativa dell'alveo:

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}$$

Il settimo termine rappresenta la pendenza della linea dell'energia legata agli sforzi tangenziali di natura viscosa, che determinano la resistenza allo scorrimento. In condizioni di turbolenza, quali quelle in esame, il fenomeno di scambio e dissipazione energetica per sforzo tangenziale interno è convenzionalmente determinato con una struttura matematica analoga a quello tipico del caso laminare, nel quale al parametro di viscosità dinamica si sostituisce la eddy viscosity o coefficiente di scambio turbolento, il cui valore è tra 100 e 1000 volte quello del coefficiente di viscosità dinamica ($1.12 \cdot 10^{-3} \text{ Nm}^{-2}\text{s}$). Tale parametro è formulato nel TUFLOW con due metodi alternativi. Il primo fissa per tale parametro un valore costante, nei casi in cui la dimensione delle celle di calcolo è maggiore di quella del tirante della corrente idrica. Il secondo metodo è un'approssimazione della formulazione di Smagorinsky, da utilizzare quando la dimensione delle celle è prossima o minore del tirante della corrente idrica e la cui espressione è la seguente:

$$\mu = C_s \sqrt{A_c} \sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right)^2}$$

nella quale sormonto è l'area della cella e C_s il coefficiente di Smagorinsky, convenzionalmente posto pari a 0.2.

L'ottavo termine rappresenta il gradiente della pressione barometrica. In riferimento alle simulazioni idrauliche condotte, si precisa che tale termine è stato considerato pari a 0.

Il nono termine rappresenta infine tutte le forze esterne non esplicitate in precedenza (es. forza del vento). In riferimento alle simulazioni idrauliche condotte, si precisa che tale termine è stato considerato pari a 0.

La soluzione completa delle equazioni delle acque basse (Shallow Water Equations) si basa sull'algoritmo di Stelling (1984), fondato sul metodo implicito alle differenze finite a direzioni alternate, così come documentato da Syme (1991). La procedura computazionale, riportata in seguito, si divide in 2 fasi, ognuna delle quali comporta 2 step, che richiedono la soluzione di una matrice diagonale di terzo ordine.

<p>STAGE - I</p>	<p><i>1° Step</i> Risolve l'equazione del moto nella direzione Y per la velocità v, utilizzando un metodo iterativo, che richiede 2 sweeps. Per il primo sweep, il calcolo procede colonna per colonna nella direzione Y. Se il segno di tutte le velocità nella direzione X è lo stesso, il secondo sweep non è necessario, altrimenti il calcolo è ripetuto nella direzione opposta.</p> <p><i>2° Step</i> Determina il tirante e la velocità u attraverso la soluzione delle equazioni di continuità e di moto nella direzione X. Nell'equazione di continuità viene esplicitato il termine della velocità in funzione dell'equazione di moto. Si determina così il tirante, che viene poi introdotto nell'equazione di moto per ricavare la componente della velocità. Questo processo è ripetuto per 2 iterazioni. Diversi test hanno mostrato che ci sono pochi benefici ad utilizzare più di 2 iterazioni.</p>
<p>STAGE - II</p>	<p>Il secondo stage procede nella stessa maniera dello stage 1, ma nel primo step si utilizza l'equazione del moto della direzione x e nel secondo step sono impiegate l'equazione di continuità e l'equazione del moto nella direzione Y.</p>

5.0.3 La pericolosità idraulica relativa

Il PAI dell’Autorità di Bacino della Puglia individua quali aree a pericolosità idraulica le porzioni di territorio caratterizzate da uguale probabilità di inondazione, che, in accordo con la vigente normativa nazionale di settore, corrispondono ai tempi di ritorno della piena di riferimento pari a 30, 200 e 500 anni.

Tabella 5.1 – Pericolosità di inondazione in funzione del tempo di ritorno dell’evento straordinario di riferimento

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

Questa impostazione si basa sulla consolidata assunzione che un evento di inondazione sia tanto più pericoloso quanto più è frequente. Tale approccio risulta valido dove il flusso è confinato in un alveo morfologicamente definito e quindi l’estensione dell’impronta al suolo della piena di riferimento, con tempo di ritorno assegnato, è sufficiente a definirne la pericolosità. Tuttavia è possibile che a morfologie in cui il flusso risulta concentrato, si alternino porzioni di territorio in cui si determina l’inondazione di vaste aree con tiranti e velocità talora di bassa entità. Da ciò deriva l’opportunità di valutare la pericolosità idraulica non solo in funzione della probabilità di accadimento dell’evento, ma anche in funzione all’entità massima di tiranti idrici e velocità di scorrimento. La rilevanza del problema appare evidente nella pianificazione, nell’ottica di garantire, nel rispetto del naturale assetto idrogeomorfologico e del corretto funzionamento idraulico, l’esigenza dell’uomo di utilizzare il territorio.

I modelli idraulici consentono la determinazione delle grandezze idrodinamiche necessarie ai fini di una più dettagliata caratterizzazione della pericolosità idraulica, la cui rappresentazione è peraltro richiesta dalla direttiva europea 2007/60/CE e del relativo decreto di attuazione D.Lgs 49/2010. Si propone dunque una metodologia di mappatura delle aree a diversa pericolosità idraulica basata non solo sulla probabilità dell’evento di piena straordinario (pericolosità assoluta), ma anche sull’entità delle grandezze idrodinamiche in gioco (pericolosità relativa), onde evitare la sovrastima sistematica di fenomeni in realtà poco pericolosi.

In particolare, si valuta l’entità dei massimi tiranti idrici e delle velocità di scorrimento che si realizzano nelle aree inondabili con assegnato tempo di ritorno. I valori dei tiranti idrici e della velocità sono quelli massimi che si possono realizzare nell’area durantel’evoluzione della piena. Tale assunzione è cautelativa e di semplice applicazione e verifica; tuttavia, poiché, i valori massimi di tirante e velocità in un punto, in generale, non si verificano contestualmente durante l’evoluzione della inondazione, possono in alternativa essere utilizzati i valori massimi del tirante idrico accoppiati ai contestuali valori di velocità.

Per tali grandezze fondamentali devono essere determinate le soglie caratteristiche per la discriminazione di classi di diversa pericolosità relativa. Il criterio fondamentale assunto come riferimento per l’individuazione dei valori limite per la definizione dei gradi di pericolosità relativa è basato sulla determinazione di soglie idrodinamiche fondate sul concetto di spinta tollerabile di una corrente, sulla base degli studi condotti dal prof. R. Rosso del Politecnico di Milano. L’applicazione di tale criterio porta alla definizione della relazione tirante idrico – velocità di scorrimento associato ad una spinta assegnata condizionata dall’energia specifica (figura 5.1), definita dalla seguente equazione:

$$S = \frac{1}{2} \gamma \cdot h^2 + \rho \cdot h \cdot v^2$$

dove γ e ρ sono rispettivamente il peso specifico [N/m³] e la densità del fluido [Kg/m³], h il tirante idrico [m] e v la velocità di scorrimento [m/s]. In merito ai valori di spinta tollerabile, in base ai risultati sperimentali e alle diverse prescrizioni ricavabili dalla letteratura, con particolare riferimento alla stabilità degli individui, alla resistenza delle infrastrutture e degli edifici e alla mobilitazione degli autoveicoli in condizioni di inondazione, è stato assunto il valore di 1500 N/m quale rappresentativo della bassa pericolosità, mentre al superamento di un valore di circa 2500 N/m, si realizzano invece condizioni di alta pericolosità [AdBLiguria, 2005].

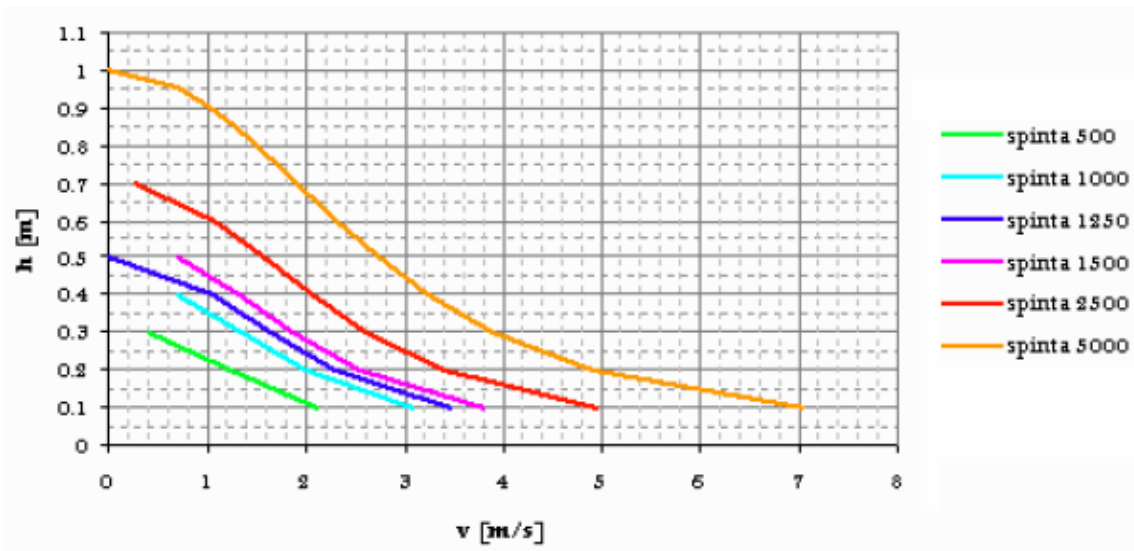


Figura 5.1 – Spinta idraulica di una corrente in funzione dell'altezza idrica e della velocità di scorrimento

Ne consegue, ai fini applicativi, che le coppie di valori tirante idrico - velocità di scorrimento inferiori alla soglia indicata dalla spinta di 1500 N/m sono individuate come ricadenti in condizioni di bassa pericolosità relativa, mentre le coppie di valori superiori a tale soglia ricadono in condizioni di alta pericolosità relativa, essendo la zona compresa tra le spinte di 1500 N/m e di 2500 N/m non definibile con certezza e quindi assimilata ad alta pericolosità relativa (v. figura 5.2). Le soglie di riferimento delle coppie di valori tirante idrico e velocità di scorrimento, per la individuazione delle condizioni di bassa e alta pericolosità relativa, indipendentemente quindi dal tempo di ritorno dell'evento che li ha prodotti, sono riportate in tabella 5.2.

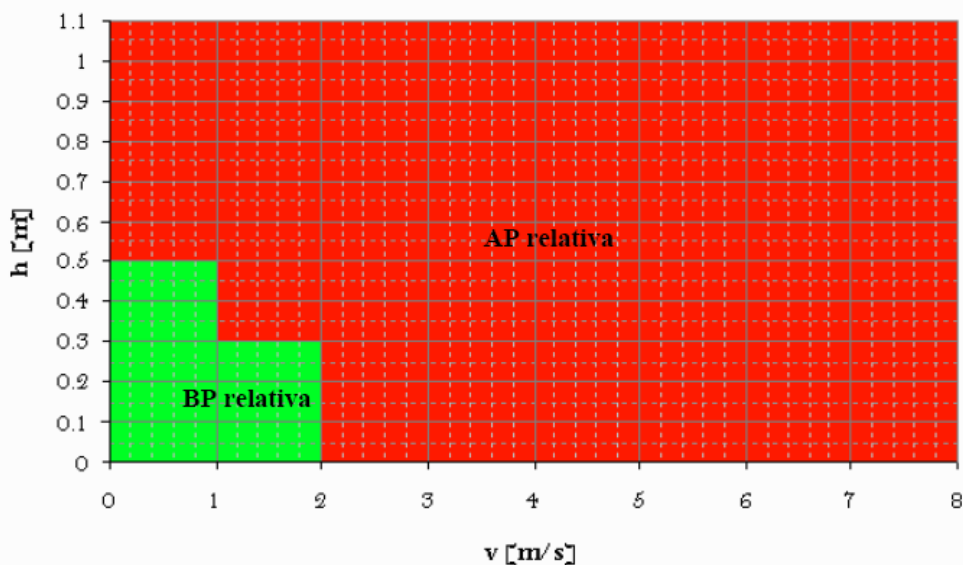


Figura 5.2 – Definizione dell'alta e bassa pericolosità relativa in funzione dei tiranti idrici h e della velocità di scorrimento v

Tabella 5.2 – Soglie di pericolosità relativa in termini di tirante idrico condizionato dalla velocità di scorrimento

Condizioni di velocità di scorrimento	Condizioni di tirante idrico	
	BP relativa	AP relativa
$v < 1 \text{ m/s}$	$H < 0.5 \text{ m}$	$H \geq 0.5 \text{ m}$
$1 \text{ m/s} \leq v < 2 \text{ m/s}$	$H < 0.3 \text{ m}$	$H \geq 0.3 \text{ m}$
$v \geq 2 \text{ m/s}$	/	$H > 0 \text{ m}$

Partendo quindi dalla valutazione congiunta dei massimi tiranti e delle massime velocità di scorrimento risultanti dagli studi idraulici condotti per i differenti tempi di ritorno, si definisce la pericolosità idraulica relativa per ogni tempo di ritorno. Per ultimo la pericolosità relativa viene incrociata con i tempi di ritorno degli eventi, per determinare la pericolosità assoluta secondo il criterio di seguito schematizzato e riportato in tabella 5.3:

- all'interno delle aree inondabili con tempo di ritorno di 30 anni (ex alta pericolosità di inondazione) si individuano, sulla base dei risultati delle simulazioni in termini di altezze idriche e velocità di scorrimento, sottozone ad alta pericolosità relativa e sottozone a bassa pericolosità relativa; mentre le prime sono associate ad un'alta pericolosità, le seconde sono declassate in media pericolosità;
- all'interno delle aree inondabili con tempo di ritorno di 200 anni (ex media pericolosità di inondazione) si individuano, sulla base dei risultati delle simulazioni in termini di altezze idriche e velocità di scorrimento, sottozone ad alta pericolosità relativa e sottozone a bassa pericolosità relativa; mentre le prime sono associate ad una media pericolosità, le seconde sono declassate in bassa pericolosità;
- le aree inondabili con tempo di ritorno di 500 anni restano definite come a bassa pericolosità di inondazione, indipendentemente dai tiranti e dalle velocità.

L'applicazione di tale metodologia di mappatura della pericolosità idraulica deve basarsi sui risultati di studi idraulici di dettaglio, che permettono di determinare affidabilmente, oltre alla perimetrazione delle aree inondabili, anche l'entità di tiranti idrici e velocità di scorrimento che si realizzano. Per tale ragione è opportuno associare alla stima delle grandezze idrodinamiche la loro incertezza.

Tabella 5.3 – Definizione della pericolosità idraulica in funzione della pericolosità relativa e del tempo di ritorno

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

Si riporta a seguire un esempio di applicazione su una porzione di territorio studiato attraverso l'utilizzo di uno schematismo bidimensionale. Nell'immagine in figura 5.3 è riportata la rappresentazione delle aree di allagamento lungo il Torrente Cervaro in termini di tiranti idrici con tempo di ritorno di 200 anni. I risultati riferiti a tutti i corsi d'acqua studiati sono riportati nelle cartografie allegata alla presente relazione (allegati 5.1.1-5.1.5).

In figura 5.4a è riportata la perimetrazione delle aree ad alta (tempo di ritorno=30 anni), media (tempo di ritorno=200 anni) e bassa (tempo di ritorno=500 anni) pericolosità secondo le vigenti norme del PAI; mentre in figura 5.4b è riportata la perimetrazione delle aree a pericolosità considerando non solo il tempo di ritorno dell'evento ma anche i valori di tirante idrico e velocità di scorrimento della corrente.

L'approccio culturale che sta alla base di quanto in precedenza esposto è in linea con le conoscenze di settore indicate nella letteratura tecnica recente. Tuttavia esso, pur significativo, appare non applicabile in via speditiva poiché confligge con le vigenti NTA del PAI e peraltro si riferisce, nell'esempio indicato, ad una porzione non trascurabile, ma comunque non maggioritaria del territorio di competenza dell'AdBP, quale è quella esaminata nel presente studio.

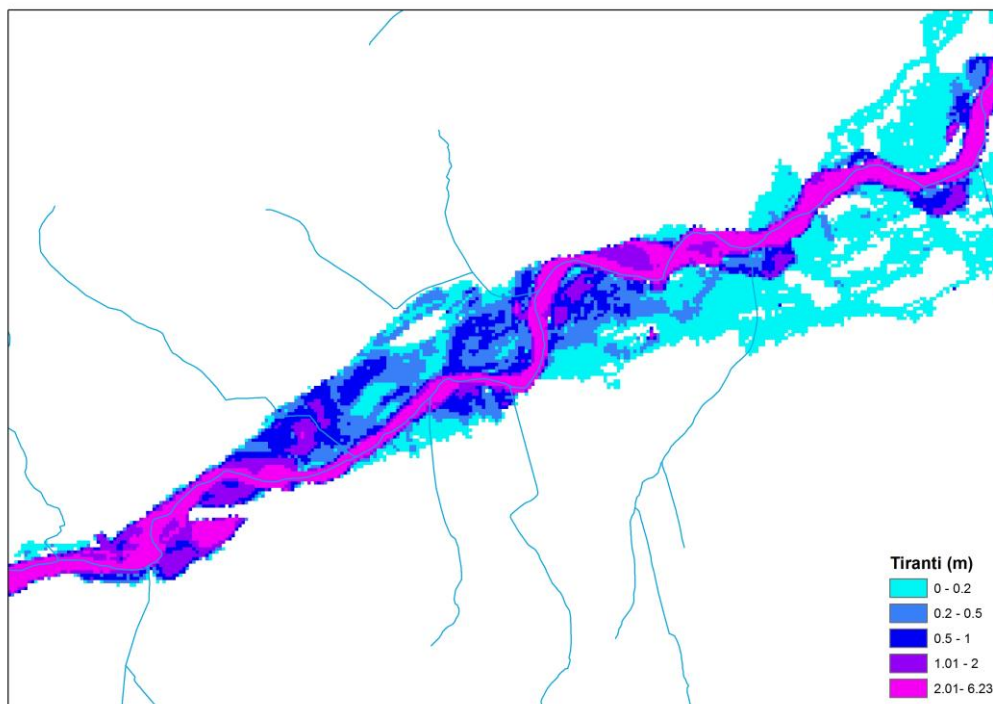


Figura 5.3 – Aree di allagamento espresse in termini di tiranti idrici

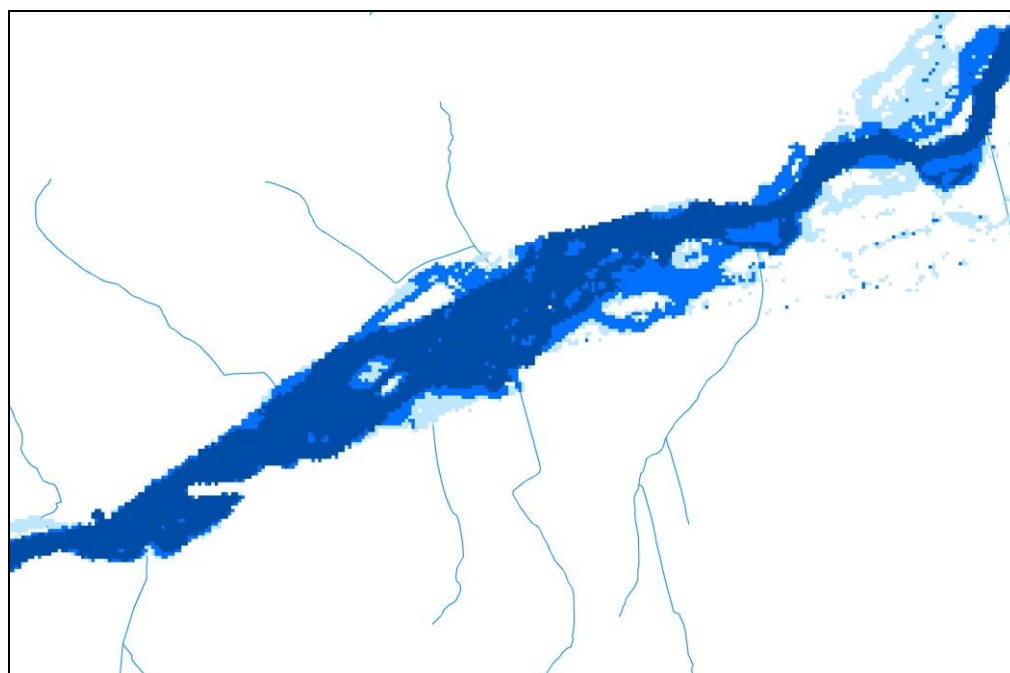


Figura 5.4a – Aree a diversa pericolosità idraulica secondo le vigenti norme del PAI

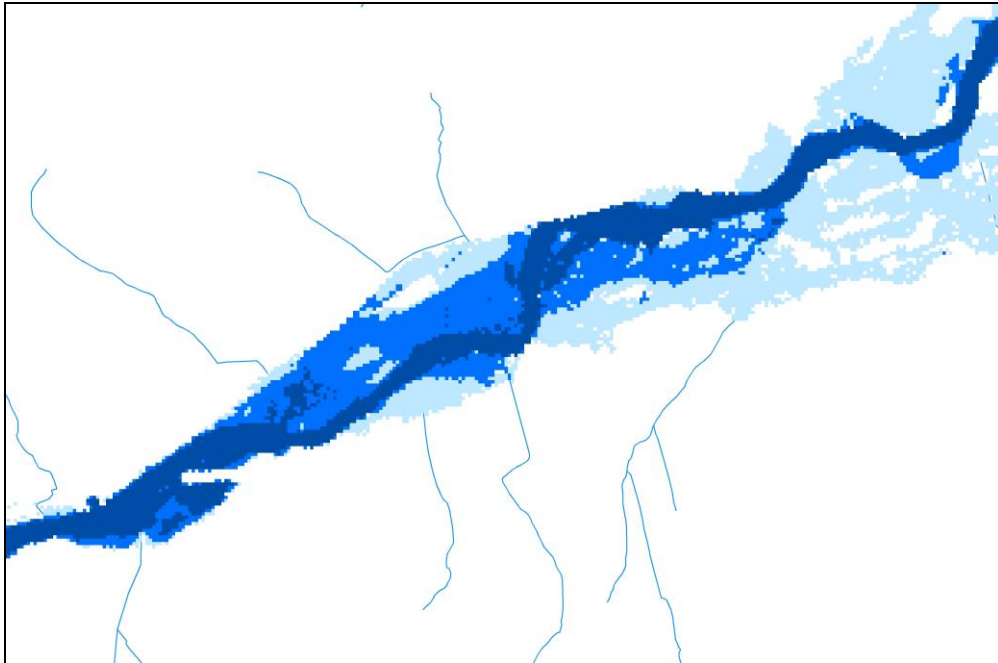


Figura 5.4b – Aree a diversa pericolosità idraulica sulla base della valutazione combinata del tempo di ritorno e delle grandezze idrodinamiche

5.1 TORRENTE CERVARO

5.1.1 Descrizione geografica e morfologica

Il torrente Cervaro, alla sezione di chiusura in corrispondenza della stazione strumentata *Cervaro ad Incoronata*, presenta un bacino di 539 km², mentre a foce sottende un bacino di circa 666 km². Solca i territori comunali, da monte a valle, di Ariano Irpino, Savignano Irpino, Montaguto, Panni, Orsara di Puglia, Bovino, Castelluccio dei Sauri, Foggia e Manfredonia, prima di sfociare nel Mare Adriatico.

Il corso d'acqua, sino alla sezione strumentata, è alimentato da numerosi reticoli; quelli aventi un'area contribuente maggiore di 25 km² sono rappresentati da (i) il Torrente Avella in destra idraulica, che si sviluppa nei territori di Savignano Irpino e Panni, (ii) il Torrente Lavella, Potesano e Sannoro, affluenti in sinistra idraulica, che solcano aree ricomprese nei comuni di Troia, Orsara di Puglia, Bovino e Castelluccio dei Sauri, ed infine (iii) il canale Pozzo Vitolo, che alimenta destra idraulica il torrente Cervaro e si sviluppa nel territorio comunale di Castelluccio dei Sauri.

L'assetto idraulico del territorio è caratterizzato dalla presenza di una serie di infrastrutture viarie, che intersecano in più punti l'asta principale: nel tratto più a monte, la linea ferroviaria Foggia-Benevento e la S.S.90; nelle aree più a valle la S.S.655, linea ferroviaria Foggia-Bari, e la SS16.

Dal punto di vista morfologico l'alto corso d'acqua, che attraversa la zona montuosa del subappennino, si presenta abbastanza inciso, caratterizzato da versanti acclivi e scarpate ben definite. Il basso corso, che scorre nella piana alluvionale, assume invece un andamento meandriforme, mentre il tratto di foce si presenta interamente canalizzato tra argini artificiali.

L'uso del suolo delle aree contigue al torrente è quasi in prevalenza dedicato ai seminativi semplici e ai boschi di latifoglie, con aree minori interessate da cespuglieti, arbusteti ed aree a pascolo naturale.

5.1.2 Scabrezza

Lungo i corsi d'acqua analizzati, l'uso del suolo è quasi in prevalenza dedicato ai seminativi semplici e ai boschi di latifoglie, con aree minori interessate da cespuglieti ed arbusteti ed aree a pascolo naturale.

Nelle immagini a seguire è possibile avere rapida contezza della resistenza al flusso negli alvei oggetto di analisi. In particolare, secondo i dettami del capitolo III, si è assunto per i seminativi un indice di Manning $n=0.04$; per boschi di latifoglie $n=0.06$, per le aree a pascolo naturale $n=0.03$, per i cespuglieti $n=0.05$.

5.1.3 Portate

La portata, a monte della sezione di chiusura strumentata (n. 36), assunto quale riferimento un tempo di ritorno di 200 anni, è pari a circa 800 m³/s. I coefficienti idrometrici lungo il corso d'acqua principale assumono un andamento che segue la legge di potenza, con valori compresi tra 1 e 8.

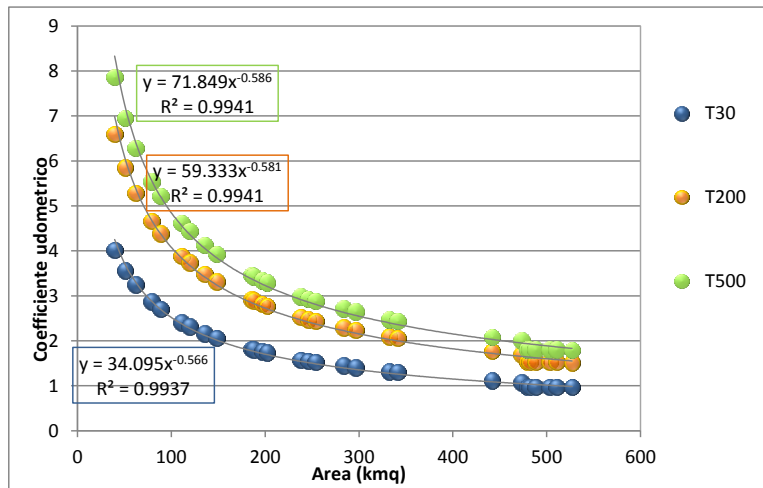


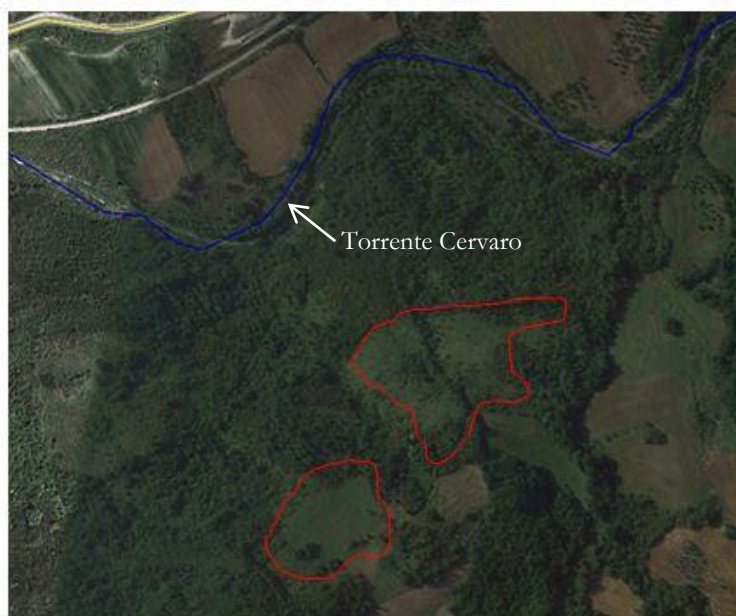
Figura 5.5 – Andamento del coefficiente udometrico lungo l’asta principale del torrente Cervaro



Boschi di latifoglie in prossimità della
sezione 902.763
Cervaro11



Seminativi in sinistra idraulica alla
sezione 25604.182 Cervaro1



Cespuglieti ed arbusteti in prossimità
della sezione 18530 Cervaro 9



Seminativi semplici a valle della sezione 907.94 Torrente Avella (Cervaro 10)



Boschi di latifoglie a monte della sezione 907.94 Torrente Avella (Cervaro 10)



Seminativi semplici a valle della SS90, sezione 1050.64 Torrente Lavella (Cervaro 8)



Seminativi semplici a valle della
sezione 3523.23 Torrente Sannoro
(Cervaro 4)



Seminativi semplici a valle della
sezione 1549.022 Torrente Potesano
(Cervaro 5)

**STUDIO PER LA DEFINIZIONE DELLE OPERE NECESSARIE ALLA MESSA IN SICUREZZA DEL RETICOLO IDRAULICO PUGLIESE,
CON PARTICOLARE RIFERIMENTO ALLE AREE DEL GARGANO, DELLE COSTE JONICHE E SALENTINE DELLA REGIONE PUGLIA - CERVARO**

CARATTERISTICHE IDRO-GEOMORFOLOGICHE - CERVARO										T30		T200		T500		INSERIMENTO	
Basin	Area [kmq]	Z _{mean}	Z _{max}	Z _{min}	i _m [m/m]	i _v [m/m]	L [km]	t _r [h]	t _c [h]	Q _{max} [mc/s]	u	Q _{max} [mc/s]	u	Q _{max} [mc/s]	u	Station	River
1	50.58	727.47	983.17	560	0.021	0.155	20.15	2.45	4.08	180.39	3.57	295.71	5.85	351.76	6.95	24894.03	Cervaro11
3	78.61	696.15	983.17	514	0.018	0.145	696.15	3.05	5.08	225.39	2.87	366.26	4.66	435.87	5.54	11725.14	Cervaro11
5	110.72	688.1	983.17	472	0.017	0.154	688.1	3.62	6.03	266.12	2.40	430.20	3.89	511.23	4.62	8305.701	Cervaro11
7	135.45	688.3	983.17	418	0.017	0.175	688.3	4.00	6.67	292.96	2.16	471.18	3.48	559.18	4.13	3635.801	Cervaro11
9	30.97	679.38	983.17	381	0.016	0.181	37.41	1.91	3.18	139.93	4.52	230.16	7.43	275.04	8.88	3157.907	Cervaro10
10	185.31	693.89	1102.22	423.4	0.07	0.22	9.72	4.68	7.80	336.37	1.82	540.55	2.92	640.03	3.45	20614.09	Cervaro9
15	237.78	693.89	1102.22	423.4	0.07	0.22	9.72	5.30	8.84	374.53	1.58	599.54	2.52	709.09	2.98	13625.15	Cervaro9
18	283.57	635.1	1102.22	220.04	0.016	0.21	56.58	5.39	9.65	409.58	1.44	651.09	2.30	770.21	2.72	3151.967	Cervaro9
22	31.16	519.99	924.41	251.92	0.038	0.193	17.79	1.78	3.20	143.53	4.61	236.08	7.58	281.61	9.04	10189.19	Cervaro8
24	341.03	596.09	1102.22	185.58	0.015	0.198	61.67	6.35	10.59	443.42	1.30	702.68	2.06	831.42	2.44	4301.508	Cervaro7
26	38.77	580.23	1011.23	335.15	0.047	0.159	14.42	2.14	3.57	158.62	4.09	260.11	6.71	310.02	8.00	14848.91	Cervaro6
28	48.45	533.75	1011.23	271.13	0.035	0.146	20.99	2.39	3.99	179.18	3.70	293.32	6.05	349.44	7.21	75693658	Cervaro6
30	84.24	430.78	1011.23	216.3	0.028	0.115	28.67	3.16	5.26	239.43	2.84	388.74	4.61	462.07	5.49	6813.632	Cervaro4
31	29.81	292.82	441.88	229.81	0.018	0.074	11.56	1.88	3.13	141.81	4.76	233.43	7.83	278.75	9.35	2031.114	Cervaro5
33	99.49	399.61	1011.23	175.92	0.024	0.106	34.95	3.43	5.72	236.48	2.38	420.63	4.23	500.10	5.03	714.9117	Cervaro4
34	441.82	551.12	1102.22	170.24	0.014	0.177	64.29	7.23	12.05	493.43	1.12	780.59	1.77	920.12	2.08	1656.925	Cervaro3
35	29.12	277.46	725.81	171.2	0.04	0.072	13.87	1.86	3.10	139.49	4.79	230.08	7.90	247.34	8.49	934.9728	Cervaro2
36	527.15	491.49	1102.22	23.36	0.011	0.156	92.00	7.90	13.16	508.39	0.96	801.91	1.52	946.35	1.80	26260.8	Cervaro1

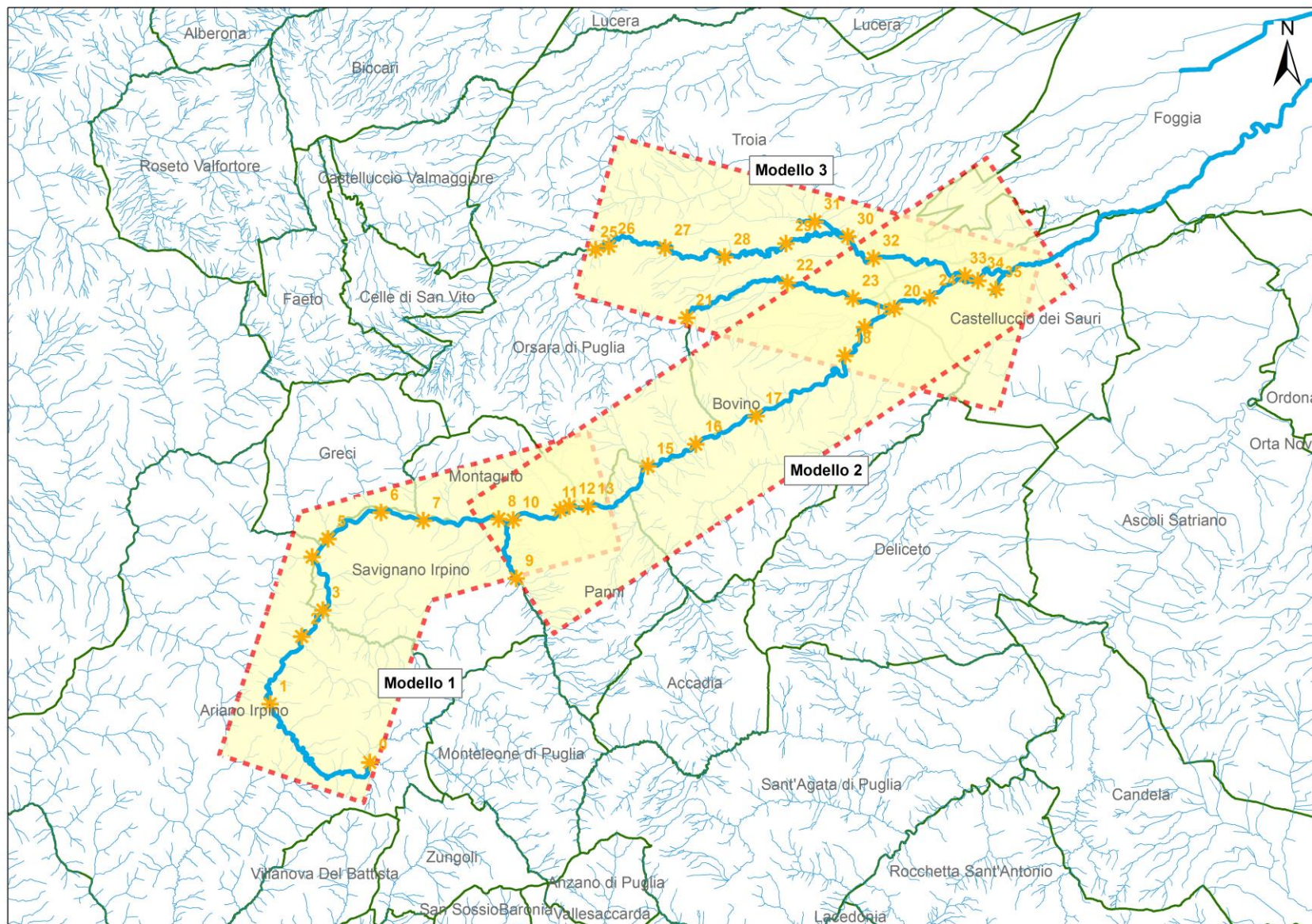


Figura 5.6 – Rappresentazione cartografica delle aree di studio bidimensionale (in giallo) e delle sezioni di calcolo delle portate (con simbologia arancione) bacino torrente Cervaro

5.1.4 Schematismo idraulico

La modellazione monodimensionale ha evidenziato che lungo il corso d'acqua principale, considerata la morfologia fortemente incisa, i deflussi idrici risultano sempre contenuti, tuttavia si individuano tratti in cui l'impronta della piena subisce brusche variazioni che interrompono la continuità idraulica tra una sezione e l'altra. Lungo gli affluenti, la morfologia subisce un notevole appiattimento e pertanto le sezioni non sono sufficienti a garantire il contenimento delle portate di piena.

L'applicazione della modellistica monodimensionale dunque, non appare rappresentativa ed adeguata alla determinazione delle caratteristiche idrodinamiche dei deflussi idrici; pertanto, si è resa necessaria l'implementazione di modelli bidimensionali, lungo tutti i reticoli oggetto di studio, al fine di valutare l'impronta della piena, dei tiranti e delle velocità, così come indicati nelle cartografie allegate 5.1.1-5.1.5.

Nella tabella seguente sono riportate le cause che determinano la necessità di una modellistica idraulica di tipo bidimensionale, la natura degli esposti e la priorità dello studio bidimensionale, secondo quanto spiegato nel paragrafo introduttivo 5.0. Sono state dunque condotte modellazioni bidimensionali per le aree indicate in tabella, i cui modelli e risultati sono riportati rispettivamente in [ALL_5_MODELLI_IDRALUCI\CERVARO\TUFLOW] e in [ALL_5_MODELLI_IDRALUCI\CERVARO\OUTPUT_2D].

ID	Dominio	Ragione	Esposto	Priorità	Codice modello 2D	Allegato Risultanze 2D
1	Modello 1	Rappresentazione non corretta della morfologia	Agro, tessuto urbano infrastrutture viarie	0.5	Cervaro_1	5.1.1-5.1.2
2	Modello 2	Rappresentazione non corretta della morfologia	Agro, infrastrutture viarie	1	Cervaro_2	5.1.2-5.1.3
3	Modello 3	Rappresentazione non corretta della morfologia, insufficienza idraulica del reticolo	Agro; infrastrutture viarie	1	Cervaro_3	5.1.4-5.1.5

Nel **Modello 1** è stata studiata l'asta principale del Torrente Cervaro a partire dai pressii della *Masseria Ospedale*, nel territorio comunale di Ariano Irpino, sino alla confluenza con il torrente Avella nei territori di Orsara di Puglia e Panni. Considerata l'estensione dell'area di analisi e la necessità di tener in conto dei diversi apporti idrologici lungo il percorso, si è scelto di suddividere l'intero dominio in cinque sottodomini, come rappresentato nelle figure 5.7 e 5.8 :

- **Modello 1a** si sviluppa a partire dai pressii della Masseria Ospedale;
- **Modello 1b** si estende a partire dalla Stazione di Pianerottolo di Ariano;
- **Modello 1c** si sviluppa a partire dai pressii della Masseria Zerella;
- **Modello 1d** si estende da poco più a monte della confluenza con il T.Gonnella;
- **Modello 1e** si estende a partire dalla Contrada Masticchio.

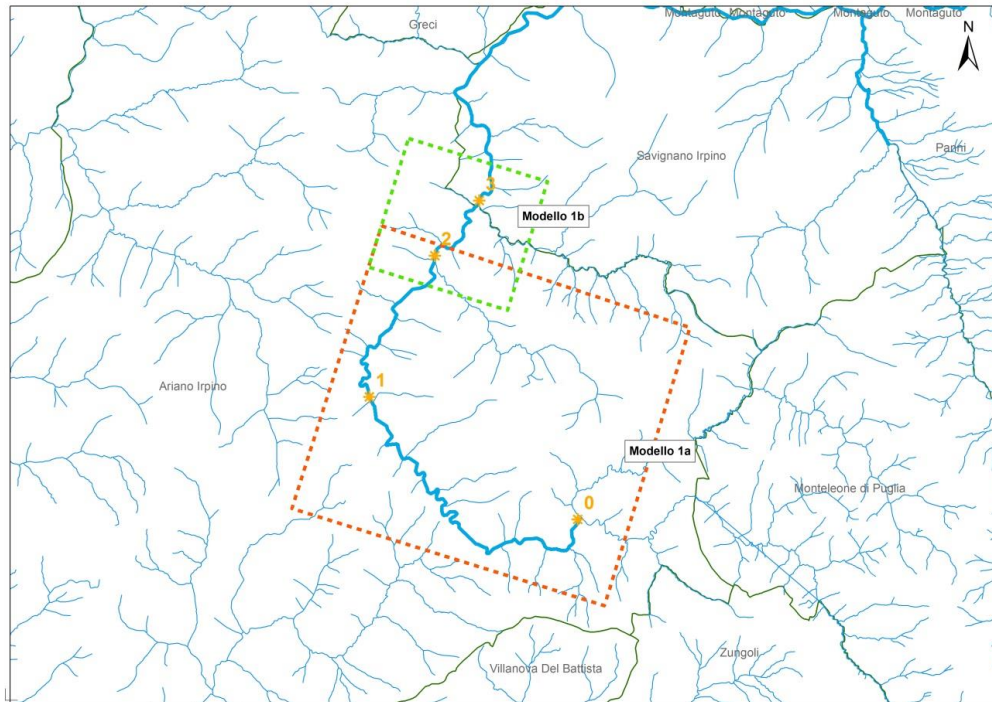


Figura 5.7 – Rappresentazione cartografica dei domini bidimensionali e delle sezioni di calcolo delle portate

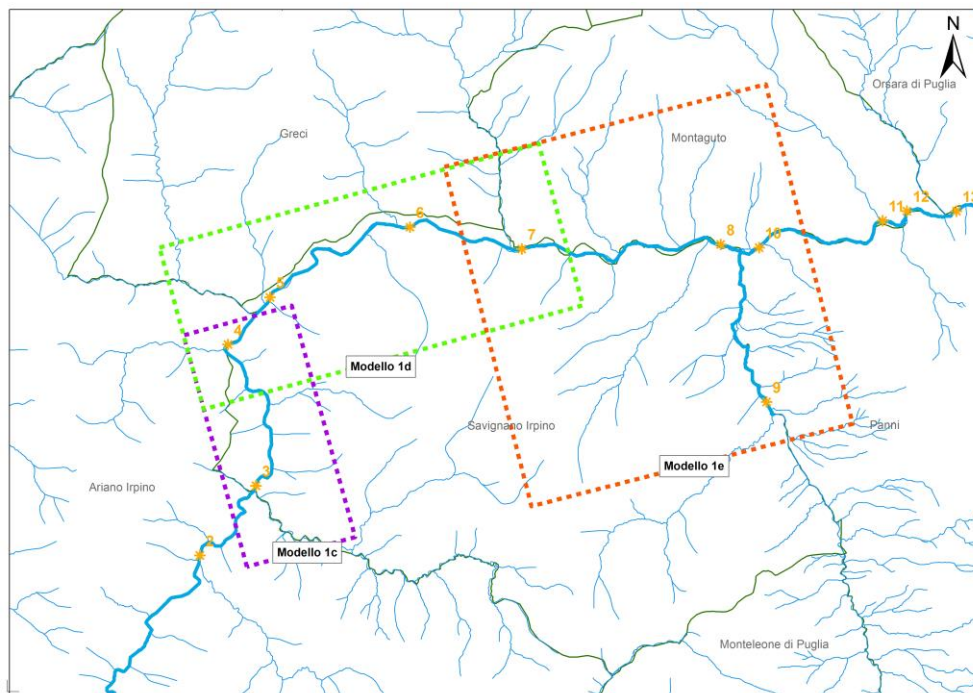


Figura 5.8 – Rappresentazione cartografica dei domini bidimensionali e delle sezioni di calcolo delle portate

La propagazione dell'onda di piena è stata simulata attraverso l'implementazione di un modello con schematismo 2D, costruendo, sulla base dei dati topografici al suolo derivanti dai rilievi LiDAR, una griglia con celle di calcolo quadrate di lato pari a 5 m con scabrezza assegnata in funzione dell'uso del suolo, secondo quanto indicato al paragrafo 3.2.3.

Di seguito si rappresentano le condizioni al contorno adottate per i vari modelli di calcolo :

Tabella 5.4 – Condizioni al contorno di monte e valle adottate nei modelli di calcolo

Modello di calcolo	Condizione al contorno di monte	Condizione al contorno di valle
Modello 1a	Idrogramma di piena sezione 1	Moto uniforme
Modello 1b	Idrogramma di piena sezione 2	Moto uniforme
Modello 1c	Idrogramma di piena sezione 4	Moto uniforme
Modello 1d	Idrogramma di piena sezione 5	Moto uniforme
Modello 1e	Idrogrammi di piena sezioni 8 e 9	Moto uniforme

Le risultanze dello scenario con tempo di ritorno di 200 anni sono illustrate nell'allegato 5.1.1 e 5.1.2 in termini di tiranti idrici.

Il secondo modello studiato interessa l'asta principale del T.Cervaro e si estende dalla confluenza con il T. Avella, nel territorio comunale di Montaguto, sino alla confluenza con il T.Sannoro, nel territorio di Castelluccio dei Sauri.

Considerata l'estensione dell'area di analisi e la necessità di tener in conto dei diversi apporti idrologici lungo il percorso, si è scelto di suddividere l'intero dominio in cinque sottodomini, come rappresentato in figura 5.9 :

- **Modello 2a** si sviluppa a partire dalla confluenza con il T. Avella;
- **Modello 2b** si estende a partire dalle aree in prossimità della Contrada Procaccini;
- **Modello 2c** parte in prossimità della Contrada Aquaviva;
- **Modello 2d** si estende da poco più a monte della confluenza con il T. Lavella;
- **Modello 2e** si estende da valle della confluenza con il T. Sannoro.

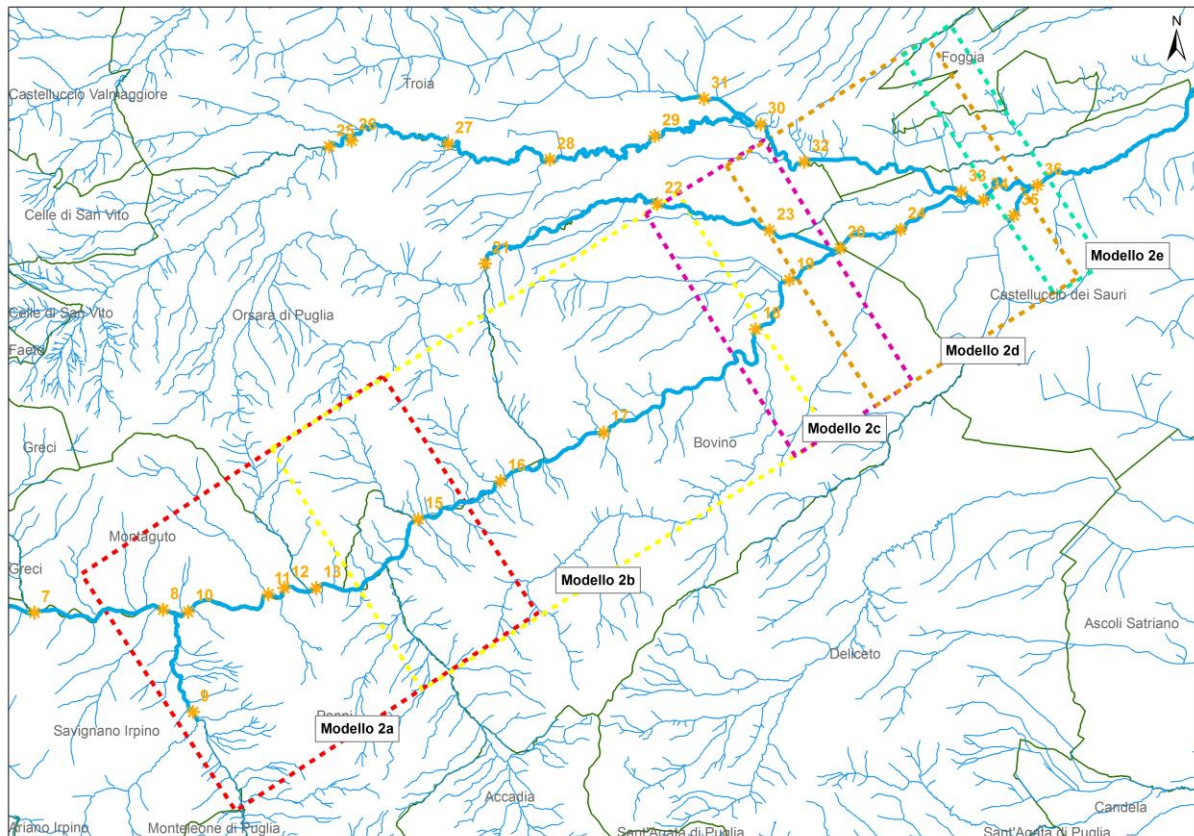


Figura 5.9 – Rappresentazione cartografica dei domini bidimensionali e delle sezioni di calcolo delle portate

La propagazione dell'onda di piena è stata simulata attraverso l'implementazione di un modello con schematismo 2D, costruendo, sulla base dei dati topografici al suolo derivanti dai rilievi LiDAR, una griglia con celle di calcolo quadrate di lato pari a 10 m, con scabrezza assegnata in funzione dell'uso del suolo, secondo quanto indicato al paragrafo 3.2.3.

Di seguito si rappresentano le condizioni al contorno adottate per i vari modelli di calcolo :

Tabella 5.5 – Condizioni al contorno di monte e valle adottate nei modelli di calcolo

Modello di calcolo	Condizione al contorno di monte	Condizione al contorno di valle
Modello 2a	Idrogramma di piena sezione 13	Moto uniforme
Modello 2b	Idrogramma di piena sezione 17	Moto uniforme
Modello 2c	Idrogramma di piena sezione 18	Moto uniforme
Modello 2d	Idrogramma di piena sezione 20	Moto uniforme
Modello 2e	Idrogramma di piena sezione 35	Moto uniforme

Nel Modello 2e in corrispondenza della confluenza tra il canale Pozzo Vitolo e il torrente Cervaro è stata inserita la condizione di livello idrico costante, pari a 161.92 m s.l.m., al fine di considerare la condizione più gravosa di alveo completamente pieno d'acqua.

Le risultanze dello scenario con tempo di ritorno di 200 anni sono illustrate nell'allegato 5.1.2 e 5.1.3 in termini di tiranti idrici.

Nel terzo modello, denominato **Modello 3**, è stata simulata la propagazione dell'onda di piena lungo i torrenti Sannoro, Potesano e Lavella sino alla confluenza con il T. Cervaro. Per tener in conto dei diversi apporti idrologici lungo l'asta del Sannoro si è scelto di suddividere l'intero dominio in due sottodomini, come rappresentato in figura 5.10 :

- **Modello 3a** si estende a partire dalle aree in prossimità della Masseria Montebifero;
- **Modello 3b** si estende a partire dalla località Forapane.

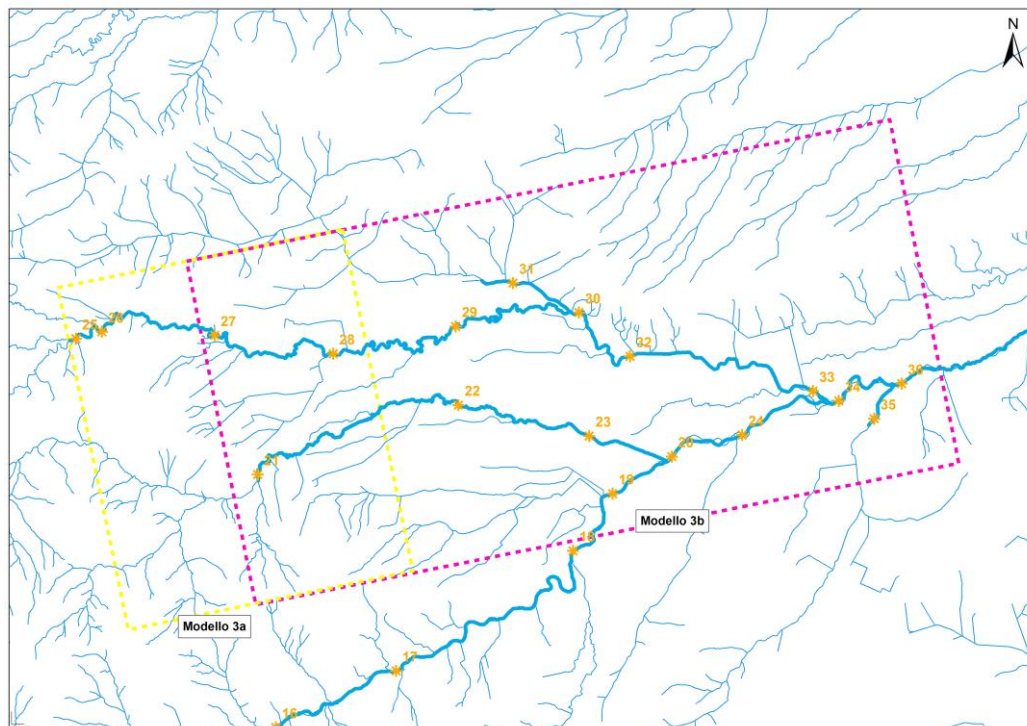


Figura 5.10 – Rappresentazione cartografica dei domini bidimensionali e delle sezioni di calcolo delle portate

Per lo studio dei suddetti reticoli si è adottato un modello geometrico del tipo mono-bidimensionale (1D-2D), distinguendo il campo di funzionamento monodimensionale nell'area all'interno delle sponde del corso d'acqua, da quello bidimensionale valido nelle aree contermini.

Sulla base dei dati topografici al suolo derivanti dai rilievi LiDAR, si è costruita una griglia con celle di calcolo di 10 m. Le sezioni trasversali lungo il T.Lavella, Sannoro, Potesano e parte del T.Cervaro, nel campo monodimensionale, sono state ricavate dai dati LiDAR. Per tali sezioni è stato assegnato l'indice di Manning sulla base delle condizioni in cui si presentano attualmente gli alvei. Nel dettaglio, per i torrenti Sannoro, Lavella e Potesano, è stato assegnato un valore pari a $0.040 \text{ s/m}^{1/3}$, ad eccezione di brevi tratti lungo il T. Sannoro, in prossimità delle opere di attraversamento in cui il corso d'acqua si presenta sistemato con sponde rivestite in cls, per i quali è stato assegnato un valore pari a $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$; infine alle sezioni del T. Cervaro è stato assegnato un valore pari a $0.050 \text{ s/m}^{1/3}$.

Di seguito si rappresentano le condizioni al contorno adottate per i vari modelli di calcolo :

Tabella 5.6 – Condizioni al contorno di monte e valle adottate nei modelli di calcolo

Modello di calcolo	Condizione al contorno di monte	Condizione al contorno di valle
Modello 3a	Idrogramma di piena sezione 26	Moto uniforme
Modello 3b	Idrogrammi di piena sezioni 18-23-29-31	Moto uniforme

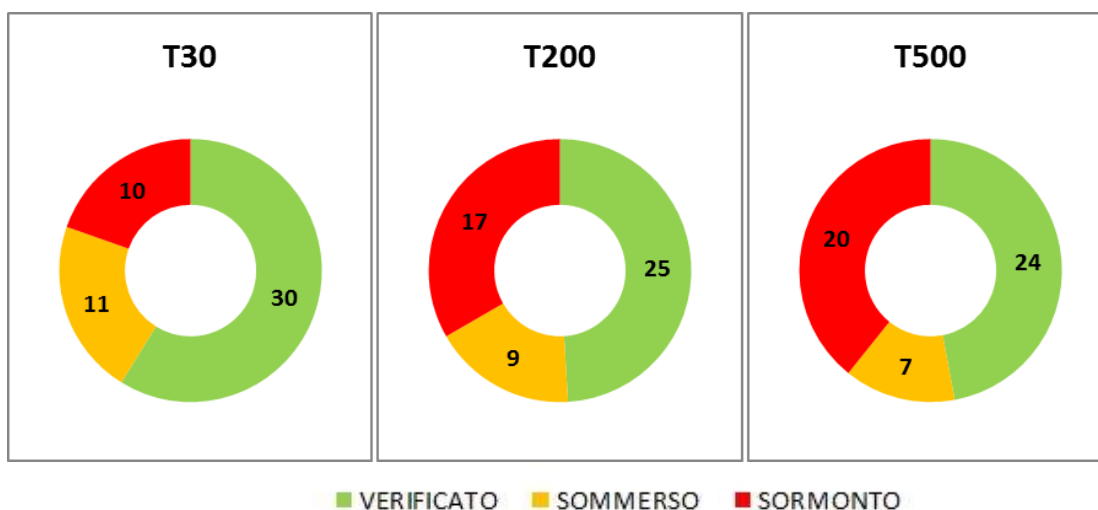
La condizione al contorno di monte lungo il torrente Cervaro è stata rappresentata da una portata costante, pari a quella relativa alla sezione di chiusura 18, al fine di considerare la condizione più gravosa di alveo completamente pieno d'acqua e di garantire in corrispondenza delle confluenze il massimo livello idrico per tutta la durata dell'evento.

Le risultanze dello scenario con tempo di ritorno di 200 anni sono illustrate nell'allegato 5.1.4 e 5.1.5 in termini di tiranti idrici.

5.1.5 Analisi delle opere di attraversamento idraulico

Nella tabella seguente è indicato il regime di funzionamento degli attraversamenti relativamente alle portate transittanti con tempo di ritorno di 30, 200 e 500 anni, classificandolo in maniera schematica in sbocco non sommerso, sbocco sommerso e sormonto

Su 51 attraversamenti, circa il 58% risulta correttamente dimensionato per una portata avente tempo di ritorno di 30 anni; tale percentuale si riduce a circa il 49% se si considera un tempo di ritorno di 200 anni. Risulta dunque necessario l'adeguamento o la predisposizione di sistemi di allerta per 26 attraversamenti, essendo la portata di 200 anni quella di riferimento per la sicurezza idraulica.



Attraversamento	Regime		
	T30	T200	T500
Cervaro 11			
CERV46	sormonto	sormonto	sormonto
CERV45	sormonto	sormonto	sormonto
CERV44	sormonto	sormonto	sormonto
CERV43	verificato	verificato	verificato
CERV42	sommerso	sommerso	sormonto
CERV41	verificato	verificato	verificato
CERV40	verificato	verificato	verificato
CERV39	verificato	verificato	verificato
CERV25	verificato	verificato	verificato
CERV24	verificato	verificato	verificato
CERV23	verificato	verificato	verificato
CERV22	verificato	verificato	verificato
CERV21	verificato	verificato	verificato
CERV20	verificato	verificato	verificato
CERV19	verificato	sommerso	sommerso
FC00200001NC	verificato	sommerso	sommerso
CERV18	verificato	verificato	verificato
CERV17	verificato	verificato	verificato
CERV16	verificato	verificato	verificato
CERV15	verificato	verificato	verificato
CERV14	verificato	verificato	verificato
Cervaro 9			
CERV13	sormonto	sormonto	sormonto
CERV31	verificato	verificato	verificato
CERV32	sormonto	sormonto	sormonto
CERV33	verificato	verificato	verificato
CERV34	verificato	verificato	verificato
Cervaro 7			
CERV35	verificato	verificato	verificato
CERV36	verificato	sommerso	sormonto
Cervaro 1			
CERV26	verificato	verificato	verificato
CERV27	verificato	verificato	verificato
CERV28	verificato	verificato	verificato
CERV29	verificato	verificato	sormonto
CERV30	verificato	sommerso	sommerso
Cervaro 8			
FC00000200SP	sormonto	sormonto	sormonto
FC00000202SP	sormonto	sormonto	sormonto
FC00000259SS	sormonto	sormonto	sormonto
FC00000095FV	sormonto	sormonto	sormonto

Cervaro 5			
FC00000257SS	sommerso	sommerso	sommerso
Cervaro 6			
Sannr02	verificato	verificato	verificato
Sannr03	sormonto	sormonto	sormonto
Sannr04	sommerso	sommerso	sormonto
Sannr05	sommerso	sormonto	sormonto
Sannr06	sommerso	sormonto	sormonto
Sannr07	sommerso	sommerso	sommerso
Sannr08	sormonto	sormonto	sormonto
Cervaro 4			
Sannr09	verificato	verificato	verificato
Sannr10	sommerso	sormonto	sormonto
Sannr11	sommerso	sommerso	sommerso
Sannr12	sommerso	sormonto	sormonto
Cervaro 10			
Avl01	verificato	sormonto	sormonto
Avl02	sommerso	sormonto	sormonto

Con riferimento agli attraversamenti idraulici ubicati lungo i reticoli non oggetto di analisi nella presente relazione (Ruanella, San Lorenzo e T.Cervaro tratto a valle della stazione Incoronata) ma già studiati da questa Autorità (vedasi istruttorie richiamate al par. 5.0) sono state condotte, per la valutazione del regime di funzionamento degli stessi, verifiche speditive riferite al transito della sola portata duecentennale.

Tali verifiche si basano sulla metodologia descritta nello Studio “*Analisi delle Criticità connesse alle interferenze tra la rete infrastrutturale ed il reticolo idrografico pugliese*” redatto da questa Autorità nell’ambito del POFERS 2007-2013 Asse II – Linea di intervento 2.3 - Azione 2.3.6.

Tali analisi sono state svolte considerando sia le portate duecentennali utilizzate negli studi già condotti sia quelle stimate in maniera speditiva dal suddetto metodo. Si riportano nella seguente tabella i risultati ottenuti.

Attraversamento	Regime (T200)	
	Q studi	Q speditiva
CRVAR02	sommerso	sommerso
CRVAR03	verificato	verificato
CRVAR04	sormonto	sormonto
CRVAR05	verificato	verificato
CRVAR06	sommerso	sommerso
CRVAR07	verificato	verificato
CRVAR08	verificato	sommerso
CRVAR09	sormonto	sormonto
CRVAR10	sormonto	sormonto
CRVAR11	sommerso	sommerso
CRVAR12	sommerso	sommerso
FC00000204SP	sormonto	sormonto

Attraversamento	Regime (T200)	
	Q studi	Q speditiva
FC00000261SS	verificato	verificato
FC00000072NC	sormonto	sormonto
FC00000098FV	sormonto	sormonto
FC00000206SP	sormonto	sormonto
FC00000074NC	sormonto	sormonto
FC00000033SL	sormonto	sormonto
FC00000073NC	sormonto	sormonto
FC00000264SS	sommerso	sormonto
FC00000060NC	sormonto	sormonto
FC00000031SL	sormonto	sormonto
FC00000067NC	sormonto	sormonto
FC00000097FV	sormonto	sormonto
FC00000263SS	sormonto	sormonto
FC00000207SP	sormonto	sormonto
FC00000032SL	sormonto	sormonto
FC00000063NC	sormonto	verificato
FC00000099FV	sormonto	sormonto
FC00000036SL	sormonto	sormonto
FC00000065NC	sormonto	sormonto
FC00000035SL	verificato	verificato
FC00000064NC	sormonto	sormonto
FC00000030SL	sormonto	sormonto
FC00000066NC	sommerso	sormonto
FC00000054AS	verificato	verificato

5.1.6 Criticità urbane / produttive

Lungo il corso d'acqua Cervaro, considerata la morfologia fortemente incisa, i deflussi risultano sempre contenuti. Le aree interessate dagli allagamenti e contigue al corso d'acqua sono dedicate in prevalenza a seminativi semplici e boschi di latifoglie, con aree minori interessate da cespuglieti, arbusteti ed aree a pascolo naturale.

Nel comune di Savignano Irpino il torrente Cervaro attraversa il tessuto urbano denominato *Borgo della Stazione*; i deflussi interessano parte delle aree in destra e sinistra idraulica; si riscontra l'insufficienza dell'attraversamento ferroviario e di quello della SS91bis. In prossimità del Ponte di Bovino si osserva l'allagamento di insediamenti produttivi agricoli e della struttura *Antica Stazione di Posta di Bovino*, posta in sinistra idraulica al torrente Cervaro. Tale struttura, che nel PAI vigente ricade in un'area ad Alta pericolosità idraulica, è già stata oggetto di allagamenti a seguito degli eventi meteorici di carattere straordinario, verificatisi tra il 30.11.2013 e il 02.12.2013.

Lungo il torrente Sannoro i deflussi, seppur non completamente contenuti all'interno dell'alveo, rimangono confinati in una fascia più larga rispetto al corso d'acqua, morfologicamente incisa. In prossimità della *Mass. Convegna*, dove la morfologia subisce un notevole appiattimento, si generano esondazioni in sinistra ed in destra idraulica. Le prime vanno a sommarsi ai deflussi del torrente Potesano, le seconde rientrano nel corso d'acqua più a valle.

Lungo il torrente Lavella, invece, si generano esondazioni che si propagano in direzione Nord-Est sommandosi ai deflussi del torrente Sannoro. Il torrente Vitolo è completamente insufficiente al contenimento delle portate di piena, pertanto si generano esondazioni in destra e sinistra idraulica.

Le aree interessate dagli allagamenti legati ai deflussi dei suddetti affluenti sono prevalentemente aree agricole, dedicate a seminativi e colture orticole in serra, poche case sparse e/o insediamenti produttivi agricoli.

Lungo la linea ferroviaria Foggia-Benevento, nel tratto Orsara-Bovino-Troia, sono in corso lavori di ammodernamento e potenziamento della linea stessa, che hanno comportato la realizzazione di un rilevato ferroviario in affiancamento alla linea esistente e la realizzazione di attraversamenti idraulici, molti dei quali ancora in fase di completamento ed occlusi a valle, dal rilevato ferroviario esistente ed attualmente attivo. Alla luce dell'attuale stato dei luoghi, si osserva come sia il vecchio che il nuovo rilevato ferroviario rappresentino uno sbarramento al deflusso idraulico, con aree di accumulo a monte e più punti di sormonto degli stessi.

Gli elaborati del presente studio non sono riutilizzabili né modificabili da soggetti terzi, per aree esterne a quelle del bacino del Cervaro.

Valutazione preliminare degli interventi – VI

ALLEGATI



- 6.0.1 – Aree critiche relative al reticolo idrografico principale
- 6.0.2 – Aree critiche relative al reticolo idrografico minore
- 6.0.3 – Attraversamenti idraulici a rischio
- 6.0.4 - Elementi esposti a rischio idraulico
- 6.1.0 – Interventi di mitigazione del rischio idraulico per il Torrente Cervaro. Corografia generale



Obiettivo di questa fase è la valutazione preliminare delle azioni e/o degli interventi necessari alla messa in sicurezza del territorio. In funzione delle risultanze delle modellazioni idrauliche, sono definiti interventi di tipo strutturale e non strutturale (nell'ambito della Pianificazione di Emergenza a scala Comunale), da porre in essere per la mitigazione del rischio sul reticolo idrografico principale e sul reticolo idrografico minore.

6.0 DESCRIZIONE GENERALE

Nei paragrafi seguenti, per il Torrente Cervaro ed i principali affluenti che lo alimentano, in funzione delle risultanze delle modellazioni idrauliche, si elencano le criticità e i conseguenti provvedimenti per la messa in sicurezza del territorio, con riferimento al reticolo principale, ovvero quello avente area contribuente maggiore/uguale a 25 km². Tali criticità sono evidenziate con un codice identificativo nella tavola corografica generale 6.1.0.

La loro individuazione deve essere rapportata allo stato dei luoghi nel periodo di redazione dello studio. Non si esclude dunque che alcune delle problematiche di sicurezza idraulica che ne emergono siano già state oggetto di analisi con l'individuazione di progetti di mitigazione del rischio, sulla quale questa Autorità ha espresso un proprio parere di competenza, ma che di fatto non hanno ancora prodotto una risolutiva modifica dello stato dei luoghi. Quanto proposto nella valutazione preliminare rappresenta inoltre solo possibili scenari di intervento, che non individuano in alcun modo scelte preferenziali da parte di questa Autorità per finalità diverse da quelle del presente studio.

In generale, si definiscono:

- interventi di tipo strutturale, ovvero opere di mitigazione del rischio che prevedono la realizzazione di argini, canalizzazioni, casse di espansione o l'utilizzo di cave per la laminazione delle piene;
- interventi di tipo non strutturale, ovvero la predisposizione di azioni di presidio e di protocolli da porre in essere in caso di eventi di piena nell'ambito del Piano di Emergenza Comunale, nonché la disposizione di specifica segnaletica.

Nella individuazione degli interventi, in linea di principio, si è orientati a limitare gli interventi strutturali, prediligendo invece gli interventi di delocalizzazione e/o la predisposizione di sistemi di allertamento, in quelle aree in cui il territorio non è stato oggetto di un massiccio consumo di suolo, al fine di preservare la naturalità dei luoghi e il libero deflusso delle acque.

Realizzare opere a difesa di edifici costruiti in luoghi palesemente sbagliati e quindi soggetti ad inondazioni richiede l'investimento di denaro pubblico per difendere bene di valore spesso inferiore all'investimento sostenuto, con l'aggravamento di danneggiare, artificializzando, il corso d'acqua e di esportare il rischio a valle. E' difatti opportuno considerare che la canalizzazione dei deflussi, se da un lato consente il recupero di suolo, dall'altro incrementa la pericolosità delle aree vallive, poiché determina un aumento della velocità della corrente idrica, con conseguente riduzione dei tempi di concentrazione delle portate e aumento dei picchi di piena.

In relazione al tipo di criticità, nei paragrafi seguenti sono dunque riportati:

- i provvedimenti di tipo non strutturale per le infrastrutture a rischio di estensione limitata e interesse privato;
- i provvedimenti di tipo non strutturale per le opere presenti sulle intersezioni con la rete viaria di livello secondario che manifestano una insufficienza della capacità di deflusso;
- i provvedimenti di tipo strutturale per le aree a rischio di interesse strategico e pubblica rilevanza;
- gli adeguamenti delle opere di attraversamento idraulico per la rete viaria principale.

Come già riferito nel capitolo precedente, la vulnerabilità delle opere di attraversamento delle intersezioni viarie con il reticolo idrografico è valutata in relazione al loro comportamento idraulico in regime di piena, mentre non è condotta alcuna valutazione sulla vulnerabilità strutturale o legata a fenomeni di permeazione, erosione o trasporto, la quale non attiene alle competenze del presente studio. Non è possibile escludere dunque che attraversamenti ritenuti verificati possano determinare situazioni di criticità diverse da quelle qui esaminata.

Nelle schede a seguire, le criticità che richiedono provvedimenti di tipo non strutturale sono elencate divise per comune, al fine di rendere agevole la consultazione per competenza territoriale. Per quanto concerne i provvedimenti di tipo strutturale, nel caso dell'adeguamento delle opere di attraversamento idraulico, è indicata la portata di progetto con tempo di ritorno di 200 anni, mentre gli interventi per le aree a rischio di interesse strategico e pubblica rilevanza sono illustrati sinteticamente e rappresentati nelle rispettive cartografie di dettaglio.

Relativamente al reticolo idrografico principale, nell'allegato 6.0.1 sono riportate, per ogni area critica, individuata nei paragrafi successivi, le rappresentazioni dettagliate dei tiranti nello scenario con

tempo di ritorno di 200 anni, in forma di schedario, raggruppandole sia per territorio comunale che per bacino idrografico.

Oltre al reticolo principale, è stato anche indagato il reticolo minore, ovvero quello con area contribuente inferiore ai 25 km². Tale indagine è motivata dai bassi tempi di corrivazione che caratterizzano i bacini idrografici di piccole dimensioni determinano che la precipitazione che massimizza la risposta idrologica sia di breve durata e quindi di elevata intensità, generando eventi rapidissimi con portate aventi coefficienti udometrici elevati. Al fine di dare contezza di tali situazioni di rischio, a completamento della mappatura delle aree a pericolosità idraulica per il reticolo idrografico principale, nell'allegato 6.0.2 sono individuate tutte le interferenze connesse alla presenza di infrastrutture sul reticolo idrografico minore, organizzate su base comunale, al fine della predisposizione di piani di emergenza e di azioni locali per la messa in sicurezza del territorio. Tali criticità, individuate con la metodologia speditiva succitata, hanno valenza di indicazioni di primo livello.

Per quanto concerne le opere di attraversamento idraulico, è predisposto l'allegato 6.0.3 contenente l'elenco delle intersezioni a rischio suddivise secondo competenze amministrative e territoriali (comunali, provinciali, statali, delle Autostrade e delle Ferrovie).²

Ogni attraversamento riconosciuto non adeguato nella presente relazione, deve essere oggetto di attenzione da parte degli Enti gestori, al fine di ridurre il rischio associato. Nello specifico devono essere progettati gli interventi strutturali di adeguamento necessari per conseguire condizioni di sicurezza o provvedimenti di tipo non strutturale con il fine di minimizzare il rischio per per gli utenti. Sulla base dei progetti degli interventi strutturali, l'Autorità di Bacino, in coordinamento con la Regione, può definire specifici programmi triennali di intervento, con priorità per le opere che comportano condizioni di rischio idraulico maggiore. Ad ogni modo, è opportuno definire procedure per la gestione dell'opera in corso di eventi di piena, ovvero misure necessarie a seguire il funzionamento del sistema ponte – corso d'acqua con il fine di garantire la sicurezza degli utenti e delle aree circostanti coinvolti dagli effetti indotti dalla presenza dell'attraversamento (mediante protocolli operativi che prevedano, in caso di necessità, la chiusura dell'opera di attraversamento, l'allarme alla popolazione coinvolta e lo sgombero delle aree potenzialmente allagabili).

Con riferimento agli interventi strutturali per le aree a rischio di interesse strategico e pubblica rilevanza, si procede a individuarne la priorità in funzione del loro impatto socio-economico ed ambientale. A tal fine è applicata una procedura metodologica coerente con quella definita dal DPCM. 28.05.2015 recante le norme per la "individuazione dei criteri e delle modalità per stabilire le priorità di attribuzione delle risorse agli interventi di mitigazione del rischio idrogeologico". L'approccio si basa sull'assegnazione di punteggi alle misure in base alla presenza, nell'area di interesse della misura, di persone a rischio diretto (persone la cui incolumità è a rischio), di beni a rischio grave (la cui rilevanza deriva dalla tipologia: edifici strategici, residenziali, produttivi/commerciali, industrie a rischio di incidente rilevante, infrastrutture di servizio, infrastrutture di comunicazione e trasporto principali e secondarie, case sparse, beni culturali, aree naturali e protette, altre strutture di interesse pubblico), al tempo di ritorno dell'evento di progetto e all'efficacia dell'intervento in termini di riduzione della classe di rischio (Tabella 6.1). L'assegnazione del livello di priorità è stata effettuata sulla base di "punteggi soglia" (Tabella 6.2), stabiliti dall'Autorità di Bacino della Puglia sulla scorta di valutazioni connesse ai valori minimi e massimi dei punteggi assegnati agli interventi oggetto di prioritizzazione nel proprio territorio di competenza.

² La competenza amministrativa è stata attribuita sulla base del DBPRIOR. Tuttavia, effettuando verifiche incrociate con altri database (es. Google Earth) talvolta è stata riscontrata una diversa classificazione delle strade. Ad esempio strade individuate nel DBPRIOR come strade provinciali possono risultare talvolta in Google Earth come strade locali di collegamento a strade provinciali. Di tali incongruenze è data informazione nella relazione con una nota asteriscata, mantenendo tuttavia la classificazione dell'attraversamento presente nel DBPRIOR.

Tabella 6.1 - Pesi e punteggi per l'attribuzione delle priorità agli interventi strutturali individuati

CRITERIO	PESO	CLASSE	PUNTEGGIO	VALORE PESATO
Fattore integrativo	20	AA	4	20
		A	3	15
		M	1	5
		B	0	0
Persone a rischio diretto	60	>10000	7	60
		5000-10000	6	51,4
		1000-5000	5	42,8
		500-1000	4	34,2
		100-500	3	25,7
		50-100	2	17,1
		<50	1	8,5
		0 (no stima)	0	0
Beni a rischio grave	30	Edifici strategici (ospedale, scuola, municipio, ecc)	4	30
		Edifici residenziali in centro abitato		
		Edifici residenziali in nucleo abitato		
		Insedimenti produttivi/commerciali		
		Industrie a rischio incidente rilevante		
		Lifelines (elettrdoti, acquedotto, oleodotti, linee telefoniche, ecc	3	22,5
		Linee di comunicazione principali (autostrade, strade di grande comunicazione, ferrovie principali)		
		Case sparse		
		Linee di comunicazione secondarie (strade provinciali, strade comunali, altre linee ferroviarie)		
		Beni culturali	1	7,5
		Aree naturali e protette di interesse rilevante		
		Altre strutture di interesse pubblico (es. depuratori)		
Nessun bene a rischio grave o NO stima	0	0		
Frequenza evento (alluvioni/erosione costiera/valanghe)	30	TR = 20 – 50	3	30
		TR = 100 – 200	2	20
		TR = 300 – 500	1	10
Classi di rischio dopo l'intervento	30	R1	3	30
		R2	2	20
		R3	1	10
		R4	0	0

Tabella 6.2 - "Punteggi soglia" per l'attribuzione delle priorità

PRIORITA' DEGLI INTERVENTI	
<i>Punteggio</i>	<i>Livello di priorità</i>
> 115	molto alta (AA)
100 ÷ 115	alta (A)
80 ÷ 100	critica (C)
60 ÷ 80	media (M)
<60	bassa (B)

Nella tabella 6.3 sono riportati i risultati della prioritizzazione degli interventi effettuata attraverso l'applicazione della metodologia sopra enucleata.

Tabella 6.3 – Priorità degli interventi nell'ambito territoriale omogeneo "Fiumi settentrionali - Cervaro"

Livello di priorità	Punteggio	Codice intervento	Tipo intervento
AA	135.7	2013	Interventi di messa in sicurezza idraulica del territorio comunale di Foggia in zona San Lorenzo
	120.7	2015	Mitigazione della pericolosità idraulica del Torrente Cervaro
	n.d.	2010	Messa in sicurezza idraulica della zona industriale ASI di Foggia (Loc. Incoronata)
A	112.1	2011	Interventi di completamento sistemazione idraulica in loc. Ippocampo
C	96	2007	Sistemazione idraulica e forestale del bacino montano del torrente Cervaro

6.1 TORRENTE CERVARO

Corografia generale: tavola 6.1.0

INTERVENTI NON STRUTTURALI CRITICITA' PER I PIANI DI EMERGENZA

INFRASTRUTTURE PUNTUALI

Comune: SAVIGLIANO IRPINO

CERVC01. Tessuto urbano in Loc. Borgo della stazione tra le sezioni 8065 e 7919 Cervaro11 (tr = 3.6 h)

Comune: BOVINO

CERVIN01a. Stazione di Bovino, linea ferroviaria, edifici sparsi tra le sezioni 7874 e 6997 Cervaro9 (tr = 5.3 h)

Comune: FOGGIA

CERVIN01. Tessuto industriale (Loc. Incoronata), infrastrutture viarie (SS16) tra le sezioni 490 e 34 Cervaro1 (tr = 7.9 h)

CERVIN02. Infrastrutture viarie (Autostrada A14, SS159, Ferrovia Foggia - Bari),

INTERSEZIONI INFRASTRUTTURE VIARIE SECONDARIE

Comune: ARIANO IRPINO

1. CRVAR45
2. CRVAR44

Comune: BOVINO

1. CRVAR32

Comune: CASTELLUCCIO DEI SAURI

1. CRVAR36

Comune: MANFREDONIA

1. CRVAR06
2. CRVAR10
3. CRVAR11

INTERVENTI STRUTTURALI

ADEGUAMENTO E MANUTENZIONE DELLE OPERE DI ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO

- | | |
|-----------------|--|
| 1. CRVAR46 (SP) | PORTATA di PROGETTO: 296 m ³ /s |
| 2. CRVAR42 (FV) | PORTATA di PROGETTO: 296 m ³ /s |

3. CRVAR19 (FV)	PORTATA di PROGETTO: 430 m ³ /s
4. FC00200001NC (SS)	PORTATA di PROGETTO: 430 m ³ /s
5. CRVAR13 (FV)	PORTATA di PROGETTO: 541 m ³ /s
6. CRVAR30 (SP)	PORTATA di PROGETTO: 802 m ³ /s
7. CRVAR02 (FV)	PORTATA di PROGETTO: 802 m ³ /s
8. CRVAR04 (SS)	PORTATA di PROGETTO: 970 m ³ /s
9. CRVAR09 (SP)	PORTATA di PROGETTO: 995 m ³ /s
10. CRVAR12 (SS)	PORTATA di PROGETTO: 995 m ³ /s

2007. SISTEMAZIONE IDRAULICA E FORESTALE DEL BACINO MONTANO DEL TORRENTE CERVARO

Ubicazione dell'opera: Comuni di Ariano Irpino, Savignano Irpino, Montaguto, Panni, Orsara di Puglia, Bovino, Troia, Castelluccio dei Sauri

Effetti di mitigazione: Comuni di Ariano Irpino, Savignano Irpino, Montaguto, Panni, Orsara di Puglia, Bovino, Troia, Castelluccio dei Sauri

Allegato cartografico: -

L'esondazione del Torrente Cervaro e dei suoi affluenti determina situazioni di rischio idraulico sia per importanti infrastrutture viarie che per edifici ad uso abitativo e produttivo ricadenti prevalentemente in aree rurali. Al fine di contrastare gli effetti negativi delle alluvioni, le sistemazioni idraulico - forestali previste in questo contesto territoriale possono contribuire alla messa in sicurezza degli elementi esposti salvaguardando il paesaggio ed il grado di biodiversità.

2010. MESSA IN SICUREZZA IDRAULICA DELLA ZONA INDUSTRIALE ASI LOC. INCORONATA (FG)

Ubicazione dell'opera: Comune di Foggia - Zona ASI

Effetti di mitigazione: Comune di Foggia - Zona ASI

Allegato cartografico: -

La Località Incoronata del Comune di Foggia può essere interessata da fenomeni alluvionali causati dall'esondazione del Fiume Cervaro e del suo affluente in sinistra idraulica "Torrente Ruanella". Per la riduzione del rischio idraulico sono previsti interventi strutturali atti a contenere la portata duecentennale nelle aste fluviali. Nello specifico è stato già progettato un intervento per l'adeguamento delle caratteristiche geometriche dell'Antico Cervaro e per la realizzazione di argini funzionali al confinamento del deflusso idrico nel Torrente Cervaro in occasione del transito della piena duecentennale ($Q = 802 \text{ m}^3/\text{s}$).

2015. MITIGAZIONE DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA DEL TORRENTE CERVARO

Ubicazione dell'opera: Comuni di Foggia e Manfredonia

Effetti di mitigazione: Comuni di Foggia e Manfredonia

Allegato cartografico: -

Il transito della portata duecentennale nel tratto di valle del Torrente Cervaro può causare l'alluvionamento di vaste porzioni di territorio a connotazione prevalentemente rurale ma in cui ricadono importanti infrastrutture viarie. E' quindi necessario mitigare la pericolosità idraulica per la messa in sicurezza idraulica del territorio e degli elementi esposti che lo caratterizzano. Si prevedono quindi interventi sulle opere idrauliche trasversali (attraversamenti) e longitudinali (argini) per contenere l'esondazione delle acque meteoriche e garantire il transito della portata di 995 m³/s in condizioni di sicurezza idraulica.

**2011. INTERVENTI DI COMPLETAMENTO SISTEMAZIONE IDRAULICA IN
LOC. IPOCAMPO**

Ubicazione dell'opera: Comune di Manfredonia (Loc. Ippocampo)

Effetti di mitigazione: Comune di Manfredonia (Loc. Ippocampo)

Allegato cartografico: -

L'esondazione del Torrente Cervaro nel tratto di foce può causare l'allagamento di vaste aree ad uso sia residenziale che rurale. In tali aree ricade anche la località turistica di Ippocampo nel comune di Manfredonia. Si rende quindi necessario ridurre il rischio per la vita umana e per le attività economiche mediante il contenimento della portata di piena duecentennale (995 m³/s). In questo contesto può trovare una proficua applicazione la realizzazione di argini lungo il tratto di foce del Torrente Cervaro per la messa in sicurezza di edifici potenzialmente soggetti ad allagamenti.

6.2 TORRENTE AVELLA

Corografia generale: tavola 6.1.0

***INTERVENTI NON STRUTTURALI
CRITICITA' PER I PIANI DI EMERGENZA***

INTERSEZIONI INFRASTRUTTURE VIARIE SECONDARIE

Comune: PANNI

1. Avl01

INTERVENTI STRUTTURALI

**ADEGUAMENTO E MANUTENZIONE DELLE OPERE DI
ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO**

1. Avl02 (SP)

PORTATA di PROGETTO: 230 m³/s

6.3 TORRENTE LAVELLA

Corografia generale: tavola 6.1.0

***INTERVENTI NON STRUTTURALI
CRITICITA' PER I PIANI DI EMERGENZA***

INFRASTRUTTURE PUNTUALI

Comune: ORSARA DI PUGLIA

CERVIN03. Infrastrutture viarie (SS90, SS160, linea ferroviaria Foggia-Benevento), masserie, edifici rurali tra le sezioni 6847 e 1009 Cervaro8 (tr = 1.8 h)

INTERVENTI STRUTTURALI

ADEGUAMENTO E MANUTENZIONE DELLE OPERE DI ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO

- | | |
|-----------------|--|
| 1. FC00000200SP | PORTATA di PROGETTO: 236 m ³ /s |
| 2. FC00000202SP | PORTATA di PROGETTO: 236 m ³ /s |
| 3. FC00000259SS | PORTATA di PROGETTO: 236 m ³ /s |
| 4. FC00000095FV | PORTATA di PROGETTO: 236 m ³ /s |

6.4 TORRENTE SANNORO

Corografia generale: tavola 6.1.0

INTERVENTI NON STRUTTURALI CRITICITA' PER I PIANI DI EMERGENZA

INFRASTRUTTURE PUNTUALI

Comune: ORSARA DI PUGLIA

CERVIN04. Infrastrutture viarie (SS90, linea ferroviaria Foggia-Benevento, stazione di Troia), edifici rurali ad uso abitativo e produttivo tra le sezioni 4730 e 3304 Cervaro4 (tr = 3.4 h)

INTERSEZIONI INFRASTRUTTURE VIARIE SECONDARIE

Comune: TROIA

1. Sannr04
2. Sannr05
3. Sannr12

Comune: ORSARA DI PUGLIA

Sannr07

INTERVENTI STRUTTURALI

**ADEGUAMENTO E MANUTENZIONE DELLE OPERE DI
ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO**

- | | |
|-----------------|--|
| 1. Sannr03 (SP) | PORTATA di PROGETTO: 260 m ³ /s |
| 2. Sannr06 (SP) | PORTATA di PROGETTO: 293 m ³ /s |
| 3. Sannr08 (SP) | PORTATA di PROGETTO: 293 m ³ /s |
| 4. Sannr10 (SS) | PORTATA di PROGETTO: 389 m ³ /s |
| 5. Sannr11 (FV) | PORTATA di PROGETTO: 389 m ³ /s |

6.5 TORRENTE POTESANO

Corografia generale: tavola 6.1.0

INTERVENTI STRUTTURALI

**ADEGUAMENTO E MANUTENZIONE DELLE OPERE DI
ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO**

- | | |
|-----------------|--|
| 1. FC00000257SS | PORTATA di PROGETTO: 232 m ³ /s |
|-----------------|--|

6.6 CANALE RUANELLA

Corografia generale: tavola 6.1.0

**INTERVENTI NON STRUTTURALI
CRITICITA' PER I PIANI DI EMERGENZA**

INFRASTRUTTURE PUNTUALI

Comune: ORSARA DI PUGLIA

CERVIN01. Tessuto industriale di Foggia in prossimità della stazione ferroviaria di Incoronata

INTERSEZIONI INFRASTRUTTURE VIARIE SECONDARIE

Comune: FOGGIA

1. FC00000033SL
2. FC0000072NC
3. FC0000073NC
4. FC0000074NC

INTERVENTI STRUTTURALI

ADEGUAMENTO E MANUTENZIONE DELLE OPERE DI ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO

- | | |
|-----------------|--|
| 1. FC00000204SP | PORTATA di PROGETTO: 96 m ³ /s |
| 2. FC00000098FV | PORTATA di PROGETTO: 115 m ³ /s |
| 3. FC00000264SS | PORTATA di PROGETTO: 115 m ³ /s |
| 4. FC00000206SP | PORTATA di PROGETTO: 115 m ³ /s |

6.7 CANALE SAN LORENZO

Corografia generale: tavola 6.1.0

INTERVENTI NON STRUTTURALI CRITICITA' PER I PIANI DI EMERGENZA

INFRASTRUTTURE PUNTUALI

Comune: FOGGIA

CERVC03. Infrastrutture viarie (SS16, Linea ferroviaria Foggia - Benevento), edifici rurali ad uso abitativo e produttivo in Loc. S. Lorenzo

INTERSEZIONI INFRASTRUTTURE VIARIE SECONDARIE

Comune: FOGGIA

1. FC0000060NC
2. FC0000030SL
3. FC0000031SL
4. FC0000064NC
5. FC0000065NC
6. FC0000036SL
7. FC0000066NC
8. FC0000067NC

INTERVENTI STRUTTURALI

ADEGUAMENTO E MANUTENZIONE DELLE OPERE DI ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO

1. FC0000097FV	PORTATA di PROGETTO: 65 m ³ /s ³
2. FC0000263SS	PORTATA di PROGETTO: 65 m ³ /s
3. FC0000032SL	PORTATA di PROGETTO: 65 m ³ /s
4. FC0000063NC	PORTATA di PROGETTO: 65 m ³ /s
5. FC0000099FV	PORTATA di PROGETTO: 65 m ³ /s
6. FC0000207SP	PORTATA di PROGETTO: 78 m ³ /s ⁴

2013. INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA IDRAULICA DEL TERRITORIO COMUNALE DI FOGGIA (ZONA SAN LORENZO)

Ubicazione dell'opera: Comune di Foggia

Effetti di mitigazione: Comune di Foggia

Allegato cartografico: -

La messa in sicurezza idraulica della zona San Lorenzo nel comune di Foggia è un intervento prioritario per la tutela della vita umana, delle infrastrutture viarie e degli insediamenti industriali e agricoli. Risulta essere quindi necessario l'adeguamento sia delle opere di attraversamento idraulico (FC0000032SL, FC0000063NC, FC0000099FV) che del canale, fino all'intersezione con la linea ferroviaria Foggia - Bari.

1. Sistemazione idraulica del Torrente San Lorenzo

Larghezza = 15 m
Pendenza = 0.002 m/m
Altezza = 2.3 m
Lunghezza = 6500 m
Q200 = 65 m³/s

³ I valori di portata indicati derivano dagli studi condotti da questa Autorità prot. n. 5449 del 05.05.2014. Il bacino del San Lorenzo è stato studiato mediante l'utilizzo di modelli idraulici bidimensionali a parametri distribuiti, pertanto la portata indicata è ricavata dal volume unitario di pioggia netta distribuito sull'area del bacino.

Gli elaborati del presente studio non sono riutilizzabili né modificabili da soggetti terzi, per aree esterne a quelle del bacino del Cervaro.

LINEE GUIDA DI PROGETTAZIONE – VII



Obiettivo di questa fase è la definizione delle linee guida per la progettazione, esecuzione e controllo degli interventi di messa in sicurezza nelle aree a maggior criticità idraulica, con particolare riferimento alle opere di attraversamento idraulico.

I danni recati in corrispondenza dei punti di attraversamento idraulico delle infrastrutture viarie costituiscono uno tra i dissesti più frequenti nel corso delle piene. I danni, con rischi per la sicurezza delle persone, sono causati dall'insufficienza della funzionalità idraulica dell'opera di attraversamento (a volte addirittura assente nel caso degli attraversamenti a raso), che può determinare la distruzione di parti importanti della struttura, ma anche l'allagamento di aree circostanti, che in caso di regolare deflusso non sarebbero interessate della propagazione della piena.

Nel corso di una piena, le sollecitazioni più importanti che subiscono le infrastrutture viarie in corrispondenza di una intersezione con il reticolo idrografico sono collegate ai seguenti fenomeni:

- lo scalzamento delle fondazioni delle pile o delle spalle, correlato a diversi fenomeni che coinvolgono la dinamica di erosione del fondo alveo e che può comportare il cedimento delle opere;
- la tracimazione o l'erosione dei rilevati con conseguenti processi di cedimento strutturale;
- le sollecitazioni idrodinamiche di varia natura che hanno origine da interazioni diverse tra le opere e la corrente (ostruzione delle luci a causa dei detriti trasportati sul fondo e delle materie galleggianti, funzionamento delle luci in assenza di franco, tracimazione dell'impalcato, disallineamento tra strutture del ponte e direzione di deflusso della corrente).

E' quindi importante dedicare un'attenzione specifica agli attraversamenti idraulici, per individuare le misure adatte a migliorarne la sicurezza, a partire dalla valutazione del loro comportamento idraulico in regime di piena. D'altronde i costi addizionali per rendere un attraversamento idraulico meno vulnerabile sono ridotti, se paragonati a quelli derivanti dalla distruzione o dal danneggiamento grave dell'opera. Inoltre la riduzione della vulnerabilità del ponte migliora il grado di sicurezza per gli utenti e per il territorio circostante.

Nel capitolo VI, attraverso le analisi idrauliche del capitolo V, sono individuate le opere che necessitano interventi per la riduzione della vulnerabilità. Si forniscono dunque in questo paragrafo linee guida per la progettazione e l'adeguamento delle opere di attraversamento idraulico.

7.1 IL QUADRO NORMATIVO

Con DM 14 gennaio 2008, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008 - Suppl. Ordinario n. 30, sono state approvate le NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI. L'applicazione di tale normativa richiede, in campo idrologico, idraulico, ecc., la valutazione di numerosi parametri: la disponibilità di eventuali linee guida può, al riguardo, favorire le attività di competenza competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia.

7.2 CRITERI DI PROGETTAZIONE

Il progetto di un'opera di attraversamento idraulico, sia di un corso d'acqua che di un canale artificiale, deve essere corredato da una apposita relazione riguardante i problemi idrologici, idrografici ed idraulici relativi alle scelte progettuali, alla costruzione e all'esercizio del ponte. L'ampiezza e l'approfondimento della relazione sono commisurati all'importanza del problema e al grado di elaborazione del progetto.

Nel caso della progettazione di nuove opere di attraversamento la relazione idraulica deve contenere:

- giustificazione della soluzione proposta per l'ubicazione dell'opera, le sue dimensioni e le sue strutture in pianta, in elevazione e in fondazione;
- definizione della prevista successione delle fasi costruttive, in relazione ai mesi dell'anno durante i quali siano da attendersi eventi di piena;
- definizione della scala di deflusso nella sezione interessata per le condizioni attuali e per quelle dipendenti dal costruendo manufatto, anche per le diverse e possibili fasi costruttive previste;
- calcolo del rigurgito provocato dal manufatto e delle modifiche prodotte a monte dell'opera in conseguenza della riduzione della luce libera rispetto a quella primitiva, attraverso l'ausilio di modellistica idraulica almeno in moto permanente nella condizioni ante-operam e post-operam riferita ad un tratto del corso d'acqua sufficientemente esteso a monte e a valle rispetto alla sezione dell'attraversamento, per un estensione totale comunque non inferiore a 500 metri;
- idonei rilievi topografici delle sezioni del tratto di corso d'acqua esaminato, a supporto del modello geometrico, particolarmente accurati nel tratto a ridosso dell'attraversamento, il cui numero va commisurato alle esigenze di dettaglio delle analisi idrauliche e comunque con interesse non superiore a 30 metri;
- valutazione dello scavo localizzato con riferimento alle forme e alle dimensioni di eventuali pile, spalle e relative fondazioni, nonché dei rilevati, nel caso in cui le opere interessino l'alveo;
- esame delle conseguenze della presenza di corpi trasportati dalle acque, ove ricorra detta possibilità, e studio della difesa dagli urti e dalle abrasioni, nonché delle conseguenze di possibili ostruzioni delle luci (specie se queste possono creare invasi anche temporanei a monte), sia nella fase costruttiva sia durante l'esercizio delle opere.

Nello specifico, il progetto deve essere redatto secondo i seguenti criteri di compatibilità idraulica.

a) *Portata di piena di progetto*

Le verifiche idrauliche dell'opera devono essere condotte avendo come riferimento una portata di progetto avente tempo di ritorno di 200 anni, da determinare attraverso lo studio idrologico nella sezione di interesse dell'infrastruttura. In ogni caso sarà necessario verificare che le opere non comportino un aggravamento delle condizioni di rischio idraulico sul territorio circostante per la piena bicentenaria.

b) *Posizionamento dell'opera di attraversamento rispetto all'alveo*

L'insieme delle opere costituenti l'attraversamento non deve comportare condizionamenti al deflusso della piena e indurre modificazioni all'assetto morfologico dell'alveo. L'orientamento dell'opera deve essere parallelo alla direzione di flusso principale della corrente. In particolare devono essere rispettate le seguenti condizioni:

- per i corsi d'acqua non arginati le pile e le spalle devono, di norma, essere poste al di fuori delle sponde incise dell'alveo; in via eccezionale le pile possono interessare la sponda, purché sia integrata con opportuni accorgimenti di difesa e di rivestimento;
- per i corsi d'acqua arginati, la spalla del ponte deve essere, di norma, sul lato campagna a distanza dal piede dell'argine maestro; lo stesso limite vale per il caso in cui siano presenti pile sul lato campagna; sul lato fiume la posizione delle pile deve essere al di fuori del petto dell'argine; in via eccezionale la pila può interessare il corpo arginale, purché non intacchi il nucleo centrale dell'argine stesso e sia integrata con opportuni accorgimenti di difesa e di rivestimento;
- nei casi in cui il ponte sia inserito in un tratto di corso d'acqua interessato da altre opere di attraversamento poste in adiacenza, a monte e/o a valle, è opportuno che le pile in alveo e le spalle siano, di norma, allineate con quelle esistenti, in modo che le pile presenti, considerate congiuntamente, non riducano la luce effettiva disponibile, anche ai fini del rischio di ostruzione da parte del materiale trasportato in piena.
- quando le condizioni geomorfologiche ed idrauliche dei luoghi rendano indispensabile la realizzazione di parte del rilevato nell'area di impronta della piena riferita ad eventi con tempo di ritorno di 200 anni, lo stesso rilevato dovrà essere adeguatamente protetto dalle azioni idrodinamiche della piena e il progetto supportato da dettagliate verifiche idrauliche e geotecniche in grado di valutare la sua stabilità rispetto alle azioni dei deflussi di piena che lo investono.
- in ogni caso l'attraversamento dovrà essere corredato da opere accessorie necessarie per garantire il corretto imbocco e sbocco dei deflussi di piena ed evitare contropendenze lungo il profilo di fondo alveo.

c) *Effetti idraulici indotti*

La soluzione progettuale dell'opera deve garantire l'assenza di effetti negativi indotti sulle modalità di deflusso in piena; in particolare il profilo idrico di rigurgito eventualmente indotto dall'insieme delle opere di attraversamento non deve comportare un aumento delle condizioni di rischio idraulico per il territorio circostante. Vanno inoltre verificati seguenti aspetti aggiuntivi:

- compatibilità dell'opera e delle eventuali sistemazioni idrauliche connesse con gli effetti indotti da possibili ostruzioni delle luci ad opera di corpi flottanti trasportati dalla piena ovvero di deposito anomalo di materiale derivante dal trasporto solido, soprattutto nel caso possano realizzarsi a monte invasi temporanei di dimensione significativa;
- se il nuovo ponte genera effetti di minore laminazione della piena lungo l'asta fluviale, si dovranno valutare e adottare provvedimenti conseguenti per eliminare erosioni localizzate e possibili esondazioni in tratti in precedenza ritenuti in relativa sicurezza idraulica.

d) *Franco di sicurezza*

Il minimo franco, ovvero la distanza tra la massima quota idrometrica relativa alla piena di progetto e la quota di intradosso del ponte, deve essere crescente con i valori della portata di progetto, in relazione alle dimensioni del bacino idrografico sotteso, e alle locali condizioni idrodinamiche della corrente (quali quantità di moto, energia cinetica, etc.).

Ulteriori garanzie dovranno essere fissate in relazione alla tipologia di opera e delle situazioni ambientali della parte di monte del corso d'acqua, in rapporto alla copertura vegetale e alle possibilità di trasporto solido.

Nel caso di corsi d'acqua arginati, la quota di intradosso del ponte deve essere superiore a quella della sommità arginale.

E' altresì opportuno determinare la riduzione di franco che si manifesta per portate superiori a quella di progetto (con particolare riferimento agli scenari con tempo di ritorno di 500 anni), ai fini di una completa determinazione dello stato di sicurezza dell'opera.

e) *La luce libera*

Gli attraversamenti di minore importanza devono di norma avere una luce minima di 2,5 metri ed un'altezza minima di 1,75 metri.

Il dislivello tra la quota di intradosso dell'impalcato e il fondo alveo deve essere più consistente quando si possa temere il transito di alberi di alto fusto, ovvero quando siano possibili sovralzi del fondo alveo per deposito di materiale lapideo.

Nei casi in cui la larghezza dell'impronta della piena di progetto sia limitata è preferibile la realizzazione di un ponte con pile e spalle esterne alla corrente.

f) *Le pile*

La parte maggiormente attiva dell'alveo, significativamente l'alveo inciso, deve, di norma, essere lasciata libera da pile, compatibilmente con i vincoli di natura strutturale, ricercando una soluzione che collochi le pile in golena o nelle zone dove l'altezza d'acqua in piena sia relativamente modesta.

La forma delle pile in alveo è preferibile sia quella circolare o di tipo profilato, in modo da costituire minore ostacolo alla corrente (minore esposizione all'erosione). Anche la struttura di fondazione (sia diretta, sia di collegamento agli elementi portanti sottostanti) è opportuno sia adeguatamente sagomata.

Nei casi in cui si abbia elevata velocità di corrente abbinata a un trasporto solido significativo, la parte delle pile a contatto con la corrente deve essere opportunamente protetta.

Nel caso l'opera sia inserita in un tratto di corso d'acqua arginato è necessario prevedere protezioni (rivestimenti e/o diaframature) del paramento lato fiume dell'argine, in conseguenza delle maggiori sollecitazioni idrodinamiche indotte dall'opera stessa. In situazioni particolari possono essere necessarie opere di ringrosso e/o sovrizzo arginale locale.

g) *Effetti idrodinamici*

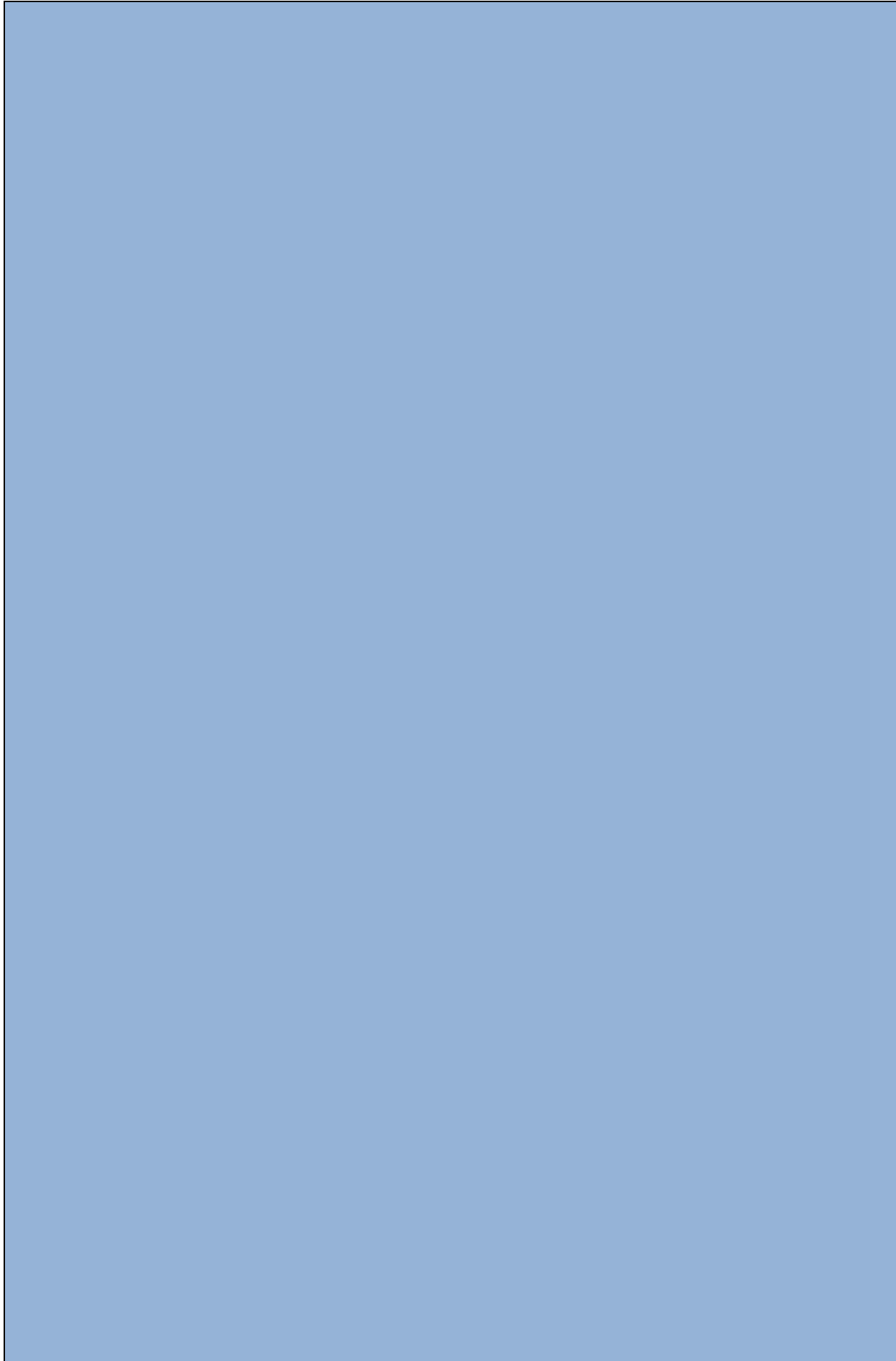
Il progetto del manufatto e delle opere connesse deve contenere la verifica della stabilità strutturale rispetto ai seguenti aspetti:

- scalzamento massimo sulle fondazioni delle pile, delle spalle; le fondazioni delle pile e delle spalle devono essere dimensionate in modo da sopportare direttamente il massimo scalzamento prevedibile (scalzamento diretto ed eventuale abbassamento del fondo alveo), senza la necessità di opere idrauliche aggiuntive. Ad esempio nel caso di fondazioni su pali il dimensionamento dei pali deve considerare scoperto il tratto di palo compreso tra la testa e la quota di massimo scalzamento;
- urti e abrasioni provocate dalla corrente sulle pile in alveo;
- scalzamento massimo sui rilevati di accesso per effetto dell'erosione della corrente;
- spinta idrodinamica per effetto del sovrizzo idrico indotto dalla struttura; ove opportuno la valutazione deve essere condotta anche con riferimento a condizioni di tracimazione del ponte per effetto di ostruzione delle luci.

h) *Opere idrauliche collegate al ponte.*

Nel caso in cui l'inserimento o la presenza del ponte comporti la realizzazione di opere idrauliche con funzioni di sistemazione dell'alveo nel tratto interessato dall'attraversamento, il progetto deve comprendere la definizione delle opere stesse con lo stesso livello di dettaglio relativo all'opera principale.

Gli elaborati del presente studio non sono riutilizzabili né modificabili da soggetti terzi, per aree esterne a quelle del bacino del Cervaro.



CONCLUSIONI

Il presente lavoro offre un approccio metodologico finalizzato alla messa in sicurezza idraulica a scala di bacino per i corsi d'acqua afferenti al torrente Cervaro, operando in maniera sistematica analisi di tipo geomorfologico, idrologico ed idraulico per la comprensione delle dinamiche di pericolosità del territorio e addivenendo alla individuazione dei provvedimenti di tipo strutturale e non strutturale per la mitigazione del rischio.

Come supporto alla modellistica idrologica ed idraulica, sono resi disponibili:

- il **censimento delle opere idrauliche di attraversamento**, utile sia ai fini della costruzione geometrica dei modelli, che per esigenze di polizia idraulica;
- le **mappe delle direzioni di flusso e delle aree contribuenti**, forzate sul reticolo idrografico della carta idrogeomorfologica dell'AdB Puglia, con individuazione della componente endoreica;
- l'**associazione dell'indice di Manning alle classi di uso del suolo** della Carta Tecnica Regionale del SIT Puglia, per la valutazione della resistenza al flusso;

Gli strumenti succitati hanno valore se rapportati alla scala di indagine del presente studio. Al di fuori di questa attività assumono valore indicativo e informativo di primo livello, senza escludere che approcci altrettanto plausibili siano possibili a partire da assunzioni (es. cartografie, conoscenze provenienti da altre esperienze, analisi idrologiche, ecc.) diverse da quelle qui adoperate.

Le analisi idrologiche, condotte in maniera organica e sistematica sui corsi d'acqua, hanno consentito la valutazione dell'andamento del **coefficiente udometrico dei bacini idrografici** dei corsi d'acqua Cervaro ed affluenti (v. figura A), utile per valutazioni di tipo speditivo.

Le modellazioni idrauliche sono state condotte su tutte le aste di reticolo aventi bacino contribuyente maggiore o uguale a 25 km² e hanno prodotto la **rappresentazione sistematica dei tiranti e delle velocità** della corrente nei tre scenari di riferimento secondo le NTA (Norme Tecniche di Attuazione) del PAI, ovvero relativi ai tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni. Tali elementi sono richiesti esplicitamente dalla Direttiva 2007/60/CE e del D.Lgs. 49/2010 di recepimento. La conoscenza delle grandezze idrodinamiche, oltre alla rappresentazione dell'estensione delle aree a pericolosità idraulica, è difatti fondamentale per la comprensione del fenomeno e per la valutazione della vulnerabilità idraulica, nell'ambito della gestione del rischio. E' inoltre proposto un **approccio per la valutazione delle aree a pericolosità idraulica**, basata sia sul tempo di ritorno dell'evento estremo, sia sulle corrispondenti grandezze idrodinamiche.

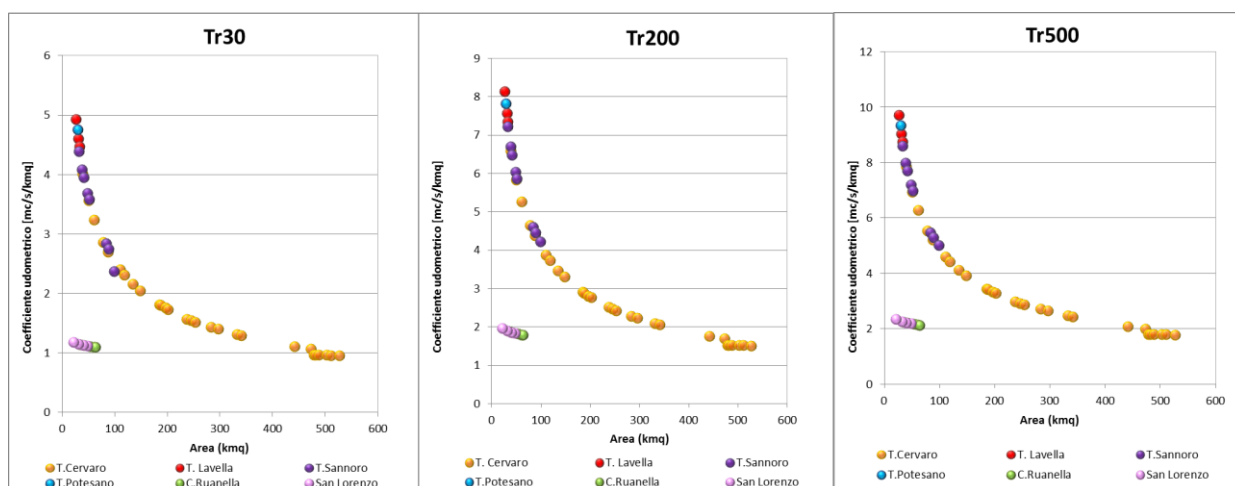


Figura A – Coefficienti udometrici per l'ambito territoriale omogeneo "Fiumi settentrionali - Cervaro"

Le risultanze delle analisi svolte hanno dunque consentito **individuare le criticità connesse all'assetto idraulico del territorio** e di svolgere una **valutazione preliminare degli interventi a scala di bacino**, necessari alla messa in sicurezza del reticolo idrografico esaminato. Gli interventi contemplano

adeguamenti delle sezioni utili al libero deflusso delle acque per le opere di attraversamento idraulico, la realizzazione di arginature, nonché provvedimenti di tipo non strutturale. L'individuazione delle criticità deve essere rapportata allo stato dei luoghi nel periodo di redazione dello studio. Non si esclude dunque che alcune delle problematiche di sicurezza idraulica che ne emergono siano già state oggetto di analisi con l'individuazione di progetti di mitigazione del rischio, sulla quale questa Autorità ha espresso un proprio parere di competenza, ma che di fatto non hanno ancora prodotto una risolutiva modifica dello stato dei luoghi. Quanto proposto nella valutazione preliminare rappresenta inoltre solo possibili scenari di intervento, che non individuano in alcun modo scelte preferenziali da parte di questa Autorità per finalità diverse da quelle del presente studio.

Con riferimento al reticolo idrografico principale sono stati individuati interventi di tipo strutturale per la messa in sicurezza delle aree a rischio di interesse strategico e pubblica rilevanza, per i quali è assegnato un indice di priorità in funzione dell'importanza degli esposti, riportato nella tabella A.

Tabella A – Priorità degli interventi nell'ambito territoriale omogeneo "Fiumi settentrionali - Cervaro"

Classe di priorità	Tipo intervento	Codice intervento
AA	Interventi di messa in sicurezza idraulica del territorio comunale di Foggia in zona San Lorenzo	2013
	Mitigazione della pericolosità idraulica del Torrente Cervaro	2015
	Messa in sicurezza idraulica della zona industriale ASI di Foggia (Loc. Incononata)	2010
A	Interventi di completamento sistemazione idraulica in loc. Ippocampo	2011
C	Sistemazione idraulica e forestale del bacino montano del torrente Cervaro	2007

Per quanto concerne le intersezioni del reticolo idrografico principale con le infrastrutture viarie, sono state censite ed analizzate nel bacino del Torrente Cervaro n. 89 opere di attraversamento idraulico, di cui 55 sono risultate insufficienti per il regolare deflusso delle acque, richiedendo dunque interventi di tipo strutturale o l'adozione di sistemi di allerta (v. tabella B). Nello specifico, interventi di tipo strutturale sono suggeriti per le opere di attraversamento idraulico delle infrastrutture viarie principali, ovvero quelle avente competenza almeno provinciale; mentre per le intersezioni a rischio con le infrastrutture secondarie (ovvero quelle di livello comunale) è indicata la necessità di provvedere almeno alla predisposizione di sistemi di allerta e segnaletica stradale opportuna, in assenza dello stanziamento di risorse per l'adeguamento strutturale. Si rappresenta che la **vulnerabilità delle opere di attraversamento è valutata in relazione al loro comportamento idraulico in regime di piena**, mentre non è condotta alcuna valutazione sulla vulnerabilità strutturale o legata a fenomeni di permeazione, erosione o trasporto, la quale non attiene alle competenze del presente studio. Non è possibile escludere dunque che attraversamenti ritenuti verificati possano determinare situazioni di criticità diverse da quelle qui esaminate.

A completamento della mappatura delle aree pericolosità idraulica sul reticolo principale, è stato anche indagato il **reticolo minore**, ovvero quello con area contribuente inferiore ai 25 km². Sono state dunque individuate tutte le interferenze connesse alla presenza di infrastrutture sul reticolo idrografico minore, organizzate su base comunale. Tali criticità, individuate con metodologia speditiva, hanno valenza di indicazioni di primo livello.

Nelle pagine conclusive si riporta l'elenco delle criticità del reticolo idrografico afferente al bacino idrografico del Torrente Cervaro, sia con riferimento ai tronchi principali che con riferimento ai tronchi secondari, suddiviso per Comune, utile al fine della predisposizione di piani di emergenza e di azioni locali per la messa in sicurezza del territorio.

Infine, nella constatazione che le intersezioni tra il reticolo idrografico e le infrastrutture viarie costituiscono elementi di particolare criticità, come evidenziato - talvolta anche tragicamente - dai recenti eventi alluvionali, sono predisposte delle **linee guida di progettazione per le opere di attraversamento idraulico**.

Tabella B – Verifica delle opere di attraversamento nell'ambito territoriale omogeneo "Fiumi settentrionali - Cervaro"

ATTRAVERSAMENTI ESAMINATI		89									
CORSO D'ACQUA	tempo di ritorno	funzionamento				interventi strutturali					allerte
		OK	SOMMERSO	SORMONTO	INSUFF.	FV	AS	SS	SP	SL	
Torrente Cervaro	T30	n.d.	n.d.	n.d.							
	T200	27	5	12	17	4	0	3	3	0	7
	T500	n.d.	n.d.	n.d.							
Torrente Avella	T30	1	1	0							
	T200	0	0	2	2	0	0	0	1	0	1
	T500	0	0	2							
Torrente Lavella	T30	0	0	4							
	T200	0	0	4	4	1	0	1	2	0	0
	T500	0	0	4							
Torrente Sannoro	T30	2	7	2							
	T200	2	3	6	9	1	0	1	3	0	4
	T500	2	2	7							
Torrente Potesano	T30	0	1	0							
	T200	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0
	T500	0	1	0							
Canale Ruanella	T30	n.d.	n.d.	n.d.							
	T200	1	1	7	8	1	0	1	2	0	4
	T500	n.d.	n.d.	n.d.							
Canale San Lorenzo	T30	n.d.	n.d.	n.d.							
	T200	4	1	13	14	2	0	1	1	2	8
	T500	n.d.	n.d.	n.d.							
TOT		34	11	44	55	9	0	8	12	2	24

PROVINCIA DI AVELLINO

COMUNE DI SAVIGLIANO IRPINO

RETICOLO PRINCIPALE (Area contribuyente ≥ 25 kmq)

Cod_esposto	Tipo di esposto	Coordinate geografiche		Bacino idrografico
		E	N	
CERVC01	Tessuto urbano c/o Scalo di Savignano e Greci	15°10'0"E	41°13'51"N	Fiume Cervaro

PROVINCIA DI FOGGIA

COMUNE DI CARAPELLE

RETICOLO PRINCIPALE (Area contribuyente ≥ 25 kmq)

Cod_esposto	Tipo di esposto	Coordinate geografiche		Bacino idrografico
		E	N	
CERCARC01	Infrastrutture viarie (A14)	15°45'49"E	41°22'29"N	Fiume Cervaro

COMUNE DI FOGGIA

RETICOLO PRINCIPALE (Area contribuyente ≥ 25 kmq)

Cod_esposto	Tipo di esposto	Coordinate geografiche		Bacino idrografico
		E	N	
CERCARC01	Infrastrutture viarie (A14)	15°42'50"E	41°23'31"N	Fiume Cervaro
CERVIN01	Tessuto industriale di Foggia, infrastrutture viarie (SP76)	15°38'48"E	41°24'18"N	Fiume Cervaro/ Torrente Ruanella
CERVC03	Nuclei abitati (Zona S. Lorenzo), infrastrutture viarie (SS16, SS655, linea ferroviaria Foggia-Benevento)	15°34'3"E	41°25'15"N	Fiume Cervaro/ Torrente S. Lorenzo
CERVIN02a	Infrastrutture viarie (A14, FS Foggia-Bari)	15°39'11"E	41°24'24"N	Fiume Cervaro

COMUNE DI MANFREDONIA

RETICOLO PRINCIPALE (Area contribuyente ≥ 25 kmq)

Cod_esposto	Tipo di esposto	Coordinate geografiche		Bacino idrografico
		E	N	
CERCARIN01	Zone residenziali, infrastrutture viarie (SS159)	15°54'51"E	41°30'11"N	Fiume Cervaro
CERCARC01	Aree aeroportuali	15°44'3"E	41°24'18"N	Fiume Cervaro
CERVIN02b	Infrastrutture viarie (SS159)	15°53'57"E	41°31'17"N	Fiume Cervaro

COMUNE DI MONTELEONE DI PUGLIA

RETICOLO MINORE (Area contribuyente < 25 kmq)

Cod_esposto	Tipo di esposto	Coordinate geografiche		Bacino idrografico
		E	N	
CERVC04	Impianto di depurazione delle acque reflue urbane	15°14'33"E	41°10'3"N	Fiume Cervaro

COMUNE DI ORSARA DI PUGLIA				
RETICOLO MINORE (Area contribuente < 25 kmq)				
Cod_esposto	Tipo di esposto	Coordinate geografiche		Bacino idrografico
		E	N	
CERVC02	Tessuto urbano	15°15'49"E	41°16'45"N	Fiume Cervaro

COMUNE DI TROIA				
RETICOLO MINORE (Area contribuente < 25 kmq)				
Cod_esposto	Tipo di esposto	Coordinate geografiche		Bacino idrografico
		E	N	
CERVC05	Impianto di depurazione delle acque reflue	15°19'19"E	41°21'36"N	Fiume Cervaro

COMUNE DI ZAPPONETA				
RETICOLO PRINCIPALE (Area contribuente ≥ 25 kmq)				
Cod_esposto	Tipo di esposto	Coordinate geografiche		Bacino idrografico
		E	N	
CERCARIN01	Tessuto urbano, infrastrutture viarie (SS159)	15°57'25"E	41°27'24"N	Fiume Cervaro

Gli elaborati del presente studio non sono riutilizzabili né modificabili da soggetti terzi, per aree esterne a quelle del bacino del Cervaro.

Bibliografia

- Alfieri S. (1927), "L'alluvione della zona barese nel novembre 1926", Bari, Annali del Ministero dei Lavori Pubblici.
- Arcement G.J. & Schneider V.R. (1989). *Guide for selecting Manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains*. United States Geological Survey Water-supply Paper 2339.
- Azzaroli A., Valduga A. (1967), *Note illustrate della carta geologica d'Italia alla scala 1:100000, Bari e Mola di Bari*, Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- Bacchi B., Franchini M., Galeati G., Ranzi R. (2000), "Parametrizzazione e regionalizzazione della curva di riduzione dei massimi annuali delle portate medie su assegnata durata", Atti del XXVII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Genova, 12-15 settembre 2000, Vol. II, pp. 129-136.
- Barnes, H.H., (1967), *Roughness Characteristics of Natural Channels*; U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1849, 213 p.
- Benson M.A., Dalrymple T. (1967), *General field and office procedures for indirect discharge measurements: U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations*, book 3, chap. A1, 30 p.
- Bogliani G., Pace F., Biscotti S., Sigismondi A., Zaccaria G., Cartù G., Lovascio C.D., Vitale M., Del rosso G., marrese M., Sollitto D., Trulli E. (2010) *Corridoio Ecologico del Cervaro*, CIPE 35/2005 - Definizione dei programmi integrati per lo sviluppo dei corridoi ecologici D.G.R. n. 2195 del 18/11/2008 "Studio di fattibilità del torrente Cervaro". Progetto pilota del Piano Paesaggistico Territoriale Regionale;
- Bonelli R., Fratino U., Romano L. (2009), *Il complesso rapporto tra la città di Bari e le lame, uno sguardo al passato per un diverso futuro*, Conv. SIGEA, Bari, 28 novembre 2009.
- Brath A., Fiorentino M., Villani P. (1994), Valutazione dei volumi di piena a frequenza assegnata, In: Copertino V.A., Fiorentino M. (a cura di), Valutazione delle piene in Puglia, pp. 269-286.
- Chow V.T. (1959), *Open-channel Hydraulics*, McGraw-Hill.
- Cowen, 1956, Chow, 1959; Bernes, 1967; Linsley, Kohler e Paulhus, 1982; Arcement e Schneide 1989; Phillips e Ingersoll, 1998).
- Da SS4-95SheetFlow.pdf
- Di Baldassarre G., Brath A., Horritt M., Bates P. (2006), *Mappatura ASAR delle aree inondate per la calibrazione e la verifica dei modelli bidimensionali di allagamento*, XXX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche – IDRA 2006
- Dietrich W.E. and Dunne T. (1993), *The channel head, Channel Network Hydrology*, John Wiley, 176-219
- Edson, C.G. (1951). Parameters for relating unit hydrographs to watershed characteristics, Trans. Am. Geophys. Un., 32, 391-396.
- Engman E. (1986). *Roughness Coefficients for Routing Surface Runoff*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 112(1), 39–53.
- Ferro V. (2006), *La sistemazione dei bacini idrografici*, McGraw-Hill Companies, 848 p.
- Ferro V. (2006), *La sistemazione dei bacini idrografici*, McGraw-Hill Companies, 848 p.
- Fiorentino, M. (1985), "La valutazione dei volumi di piena nelle reti di drenaggio urbano", Idrotecnica, (3), 141-152.
- Gabellani, S., Silvestro, F., Rudari, R., and Boni, G. (2008), *General calibration methodology for a combined Horton-SCS infiltration scheme in flash flood modeling*, Nat. Hazards Earth Syst. Sci.,8, 1317–1327,doi:10.5194/nhess-8-1317-2008.

- Gabriele S., Chiaravallotti F., Cotecchia V. (2006), L'evento pluviometrico del 22 Ottobre 2005 in Puglia. Una ricostruzione sperimentale mediante Meteosat-8 e modello afflussi-deflussi a parametri distribuiti. L'sormontoQUA, 5, pp. 37-48.
- Hjelmfelt A. T. (1980a), *Curve-Number procedure as infiltration method*, Journal of Hydraulics Division, 106(6), pp 1107-1111.
- Hjelmfelt A. T. (1980b), *Empirical investigation of curve number technique*, J. Hydr. Div., ASCE, 106(9), 1471-1477.
- Horton R. E. (1933), *The role of infiltration in the hydrologic cycle*. Trans. AGU, 14th Ann. Mtg. pp.446-460.
- Huang, Y. (2009). *Rapid flood risk assessment using GIS technology*, International Journal of River Basin Management, 7:1, 3-14.
- Kuo, Guo & Reed -(2001) "*Simulation of Mesoscale Cyclone over Mediterranean Sea*" 2001 Meteorological Atmospheric Physics
- Linsley R., Kohler M.A., Paulhus J.L.H. (1982), *Hydrology for engineers*, McGraw-Hill (New York), 500 p.
- Maione U., (1999), "Le piene fluviali", La Goliardica Pavese,
- Marone V. (1971), Calcolo di massima di un serbatoio di laminazione, L'energia elettrica, n. 9
- Mastronuzzi G., (2010) "Le gravine e le lame" in "Il patrimonio geologico della Puglia territorio e geositi", Supplemento al numero 4/2010 di "Geologia dell'Ambiente", SIGEA.
- McNamara J.P., Ziegler A.D., Wood S.H., Vogler J.B. (2006), *Channel head locations with respect to geomorphologic thresholds derived from a digital elevation model: A case study in northern Thailand*, Forest Ecology and Management, 224, 147-156
- Mesa O. J., and E. R. Mifflin (1986), *On the relative role of hillslope and network hydraulic geometry in hydrologic response*, Scale Problems in Hydrology, edited by V. K. Gupta, I.Rodriguez-Iturbe, and E. F. Wood, pp. 1- 17, D. Reidel, Norwell, Mass.
- Mills, P., Badcock, A. (2011). Preliminary Flood Risk Assessment Fluvial Flood Hazard Mapping-Normal Depth Method. Disponibile presso il sito <http://www.cfram.ie/pdfs-downloads/TechDocs/Fluvial%20Normal-Depth%20Report%20-%20Final.pdf>
- Mishra S. K. and Singh V. P. (2003): *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, ISBN 1-4020-1132-6,
- Moisello U. e Papiri S. (1986), *Relazione tra l'altezza di pioggia puntuale e raggiuagliata*, Atti del XX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Padova: 615-631
- Montgomery D.R. and Dietrich W.E. (1994), *Landscape dissection and the drainage area-slope thresholds*, Process Models and Theoretical Geomorphology, John Wiley, 221-246
- Montgomery D.R., Foufoula-Georgiou E. (1993), *Channel network source representation using digital elevation models*, Water Resources Research, 29, 12, 3925-3934
- Mossa M. (2007) *The floods in Bari: what history should have taught*, Journal of Hydraulic Research, 45, 5, pp. 579-594.
- Naden, P. (1992), *Spatial variability in flood estimation for large catchments: The exploitation of channel network structure*, Hydrol. Sci. J. , 37, 1, pp. 53-71.
- Nash J. E., (1957), "The form of the instantaneous unit hydrograph", International Union of Geology and Geophysics Assembly of Toronto, 3, 114-120.
- Petroselli A., Nardi F., Santini M., Grimaldi S. (2009), *Modello afflussi-deflussi nfiuh: metodologia innovativa per l'applicazione in bacini non strumentati*, Atti del IX Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria, 3-24
- Phillips J.V., and Ingersoll, T.L., (1998), *Verification of roughness coefficients for selected natural and constructed stream channel in Arizona*; U.S. Geological Survey Professional Paper 1584, 77p.

Pianese, D., e Rossi, F. (1986): "Curve di possibilità di laminazione delle piene." *Giornale del Genio Civile*, fasc. 4,5,6 - Apr., Mag., Giu., pp. 131-148.

Porcu F. & Prodi F (2001).- "*Osservazione multisensore di sistemi nuvolosi alla mesoscala in area mediterranea*" 2001

Rallison R. E. (1980), *Origin and evolution of the SCS runoff equation*. Proc., ASCE Irrig. and Drain. Div. Symp on watershed Mgmt., ASCE, New York, N.Y., Vol II, 912-924

Reale O., Atlas D. (2001)- "*Tropical cyclones like vortices in Extratropics: observational evidence and synoptic analysis*" *Weather Forecasting* 16, 2001.

Ree W.O., Wimberley F.L. and Crow F.R. (1977), *Manning n and The Overland Flow Equation*, Transactions of the ASAE, Volume 20, Number 1, pages 89-95, 1977

Rodriguez-Iturbe I., Rinaldo A. (1997), *Fractal River Basins*, Cambridge University Press, New York.

Romano L., Castorani A., Di Santo A.R., Fratino U. (2010a), *On the channel head location and landscape evolution using dems*, Atti EIAHR 2010, Edinburgh, 4-6 maggio 2010

Romano L., Fratino U., Di Santo A. R., (2010) "Flooding areas of Ofanto river using advanced topographic and hydraulic approaches". Dept. Water Engineering & Chemistry, Technical University of Bari, 70125 Bari, Italy -Contributo nel convegno "Geomatics for Crisis management

Silletti, G. (2006), Danni alluvionali in Puglia: non dimentichiamoci della difesa del suolo, *Silvae*, II, 5: 247-274

Singh, V.P. (1988) *Hydrologic System: Rainfall-Runoff Modeling*. Prentice Hall: Englewood Cliff, New Jerse.

Soil Conservation Service (SCS) (1972), *National Engineering Handbook*, Section 4, Hydrology

Spalluto L., Pieri P., Sabato, L., Tropeano M. (2010) *Nuovi dati stratigrafici e cartografici delle unità quaternarie del F° 438 "Bari" (Puglia – Italia meridionale)*. *Il Quaternario*, 23 (1), 3-14

U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.Engman, E. T. "*Roughness coefficients for routing surface runoff*," ASCE, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*.112(1), 39-52, 1986

Van der Sande, C.J., Jong de, S.M. and Roo de, A.P.J. (2003). "*A Segmentation and Classification Approach of IKONOS-2 Imagery for Land Cover Mapping to Assist Flood Risk and Flood Damage Assessment*", *International. Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4, 217–229.

Yen, B. C. and V. T. Chow (1980). *Design Hyetograph for Small Drainage Structures*. *J. Hyd. Div. Am. Soc. Civil Eng.* Vol 106 No.HY6. Pp 1055 -1976.