

COMUNI DI SAN SEVERO E RIGNANO

GARGANICO

PROVINCIA DI FOGGIA



PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO

RICHIESTA DI AUTORIZZAZIONE UNICA

D.Lgs. 387/2003

**PROCEDIMENTO UNICO
AMBIENTALE (PUA)**

**VALUTAZIONE DI IMPATTO
AMBIENTALE (V.I.A.)**

D.Lgs. 152/2006 ss.mm.ii. (Art.27)
"Norme in materia ambientale"



PROGETTO

FLORIO

DITTA

NVA S.r.l.

REL 05

Titolo dell'allegato:

RELAZIONE IDROLOGICA

1	EMISSIONE	21/06/2023
REV	DESCRIZIONE	DATA

CARATTERISTICHE GENERALI D'IMPIANTO

GENERATORE - Altezza mozzo: fino a 175 m
Diametro rotore: fino a 172 m
Potenza unitaria: fino a 7,2 MW

IMPIANTO - Numero generatori: 32
Potenza complessiva: fino a 230,4 MW

Il proponente:

NVA S.r.l.
Via Lepetit, 8
20045 Lainate (MI)
info@nvarenewables.com
nva.srl@pecimprese.it

Il progettista:

ATS Engineering Srl
P.zza Giovanni Paolo II, 8
71017 Torremaggiore (FG)
0882/393197
atseng@pec.it

Il tecnico:

Ing. Eugenio Di Gianvito
atsing@atsing.eu



<h1>FLORIO</h1>		
IMPIANTO EOLICO COMPOSTO DA 32 AEROGENERATORI PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 230,4 MW UBICATO NEI COMUNI DI SAN SEVERO E RIGNANO GARGANICO	Data:	21/06/2023
	Revisione:	1
	CodiceElaborato:	REL 05
Società:	NVA S.r.l.	

Elaborato da	Data	Approvato da	Data Approvazione	Rev	Commenti
Geo Tecnologie S.r.l	21/06/2023	ATS Engineering S.r.l	21/06/2023	1	

1	INQUADRAMENTO GENERALE.....	2
1.1	Premessa	2
1.2	Interventi previsti.....	3
1.3	Impostazione dello studio.....	6
2	ANALISI MORFOLOGICA	10
2.1	Inquadramento generale dell’assetto dell’area. Analisi morfologica e morfometrica dei bacini idrografici.....	10
3	ANALISI IDROLOGICA	13
3.1	Analisi geomorfologica.....	14
3.1.1	Analisi pluviometrica	21
3.1.2	Stima delle portate al colmo di piena	27

1 INQUADRAMENTO GENERALE

1.1 Premessa

Con riferimento al "Progetto relativo alla costruzione ed all'esercizio dell'impianto di produzione di energia elettrica di tipo Eolico e delle relative opere connesse, sito nei comuni di San severo e Rignano Garganico (FG)", proposto dalla ditta NVA srl, con il presente studio si forniscono alcuni approfondimenti di carattere idrologico in ragione delle problematiche idrauliche esistenti nella zona di intervento.

Allo stato attuale il progetto depositato è costituito da 32 aerogeneratori, per una potenza complessiva dell'impianto pari a 230.4 MW.

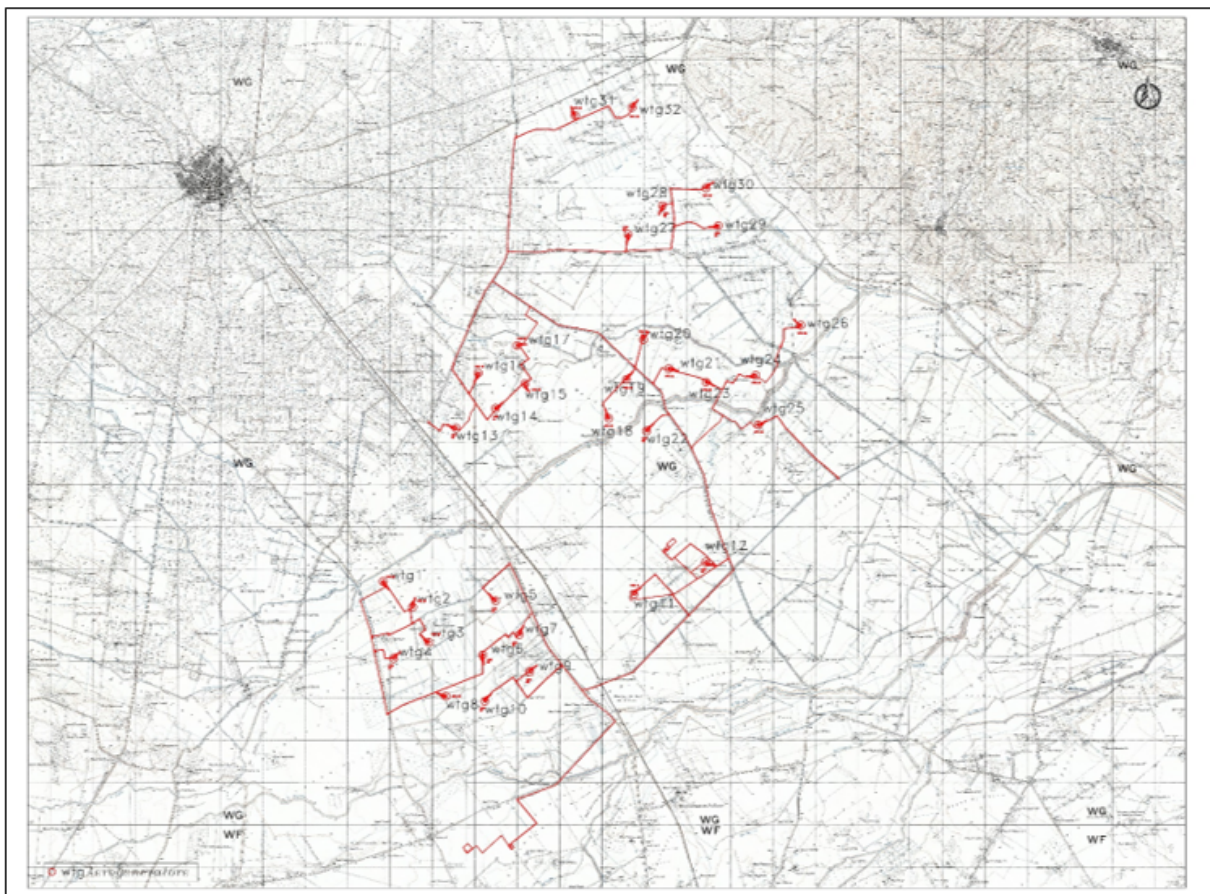


Figura 1 Inquadramento area di intervento IGM

1.2 Interventi previsti

Il progetto prevede la realizzazione di un nuovo impianto per la produzione di energia mediante lo sfruttamento del vento (impianto eolico) costituito da 32 aerogeneratori, proposto in località "Camera-Amendola", nei territori dei comuni di San Severo e Rignano Garganico denominato "Florio".

Fornendo specifiche indicazioni in merito alle criticità idrauliche presenti, l'impianto eolico verrà realizzato, in sintesi, attraverso le seguenti opere:

1. **Realizzazione della viabilità di accesso agli aerogeneratori per il trasporto dei componenti nel sito;**

è opportuno precisare sin d'ora che, in relazione allo stato dei luoghi ed alle necessità legate esclusivamente a consentire il transito di automezzi adibiti al trasporto eccezionale nella sola fase di montaggio degli aerogeneratori, gli interventi di realizzazione della nuova viabilità saranno, di fatto, realizzati come opere provvisoriale finalizzate solo alla esecuzione dei lavori al termine dei quali, grazie alla metodologia che si andrà a descrivere in appresso, potranno essere facilmente rimosse per il ripristino dello stato preesistente dei luoghi. Ad oggi, infatti, lo stato dei luoghi, la loro morfologia, consentono il raggiungimento dei siti per le operazioni di manutenzione ordinaria.

In tal senso la Società ha deciso di adottare la metodologia della stabilizzazione a calce, che si basa sul trattamento a calce di terreni di natura prevalentemente argillosa mediante la miscelazione con i leganti opportuni e con la eventuale aggiunta di acqua, in quantità e con modalità tali da modificare, attraverso reazioni chimico-fisiche, le caratteristiche meccaniche di resistenza e di portanza della miscela così ottenuta.

La stabilizzazione delle terre con calce e/o cemento consente l'utilizzo di materiali argillosi e/o limosi che fino ad oggi erano ritenuti non idonei nell'ambito di lavori di riempimento in generale, attraverso idoneo trattamento sul posto del materiale medesimo.

Questo trattamento permette di conferire al materiale argilloso le proprietà statiche necessarie per sopportare i carichi sovrastanti.



Tale applicazione può sostituire, con ottimi risultati sia tecnici che economici, la metodologia tradizionale che sino ad oggi prevedeva l'asportazione con trasporto a rifiuto dei materiali a forte componente argillosa, (considerati di scarto) e la successiva sostituzione con materiali inerti ghiaiosi, che risultano sempre più costosi e, ovviamente, di non immediata rimozione allorché, come nel caso in esame, si preveda il ripristino dello stato dei luoghi al termine dei lavori.

La metodologia si presta bene alla realizzazione di piste e piazzali per cantieri.



Oltre la corretta applicazione della metodologia, occorre l'utilizzo di appositi macchinari progettati e costruiti allo scopo, quali la stabilizzatrice (Pulvimixer), lo spandi-calce a dosaggio regolabile, i rulli a piastre vibranti ed i rulli gommati di adeguato peso.

Nella figura a seguire, dove è riportato il risultato a seguito della compattazione finale, è possibile notare la completa omogeneità della strada con il terreno circostante.



I principali vantaggi sono:

- eliminazione del conferimento a discarica della terra;

- diminuzione del trasporto su strade e relativi problemi dato il riutilizzo di materiali esistenti;
 - non ricorrendo a inerti pregiati si ha un contenimento dei costi e la salvaguardia ambientale (non si utilizzano materiali da cava);
 - si riesce ad ottenere un notevole guadagno temporale;
 - non si altera la morfologia dei luoghi;
 - facilità di rimozione, anche attraverso normali lavorazioni agricole (aratura);
 - l'intervento è ecologico (la calce da sempre aiuta l'ambiente, nella depurazione acque, correzione acidità dei terreni agricoli, bonifiche dei siti contaminati, igienizzazione di fanghi biologici, ecc.) ed è compatibile dal punto di vista paesaggistico poiché non comporta degli scavi con introduzione di materiale da cava.
2. **realizzazione di piazzole di servizio agli aerogeneratori**, nella configurazione di cantiere e in quella definitiva, queste ultime di dimensioni ridotte;
 3. **realizzazione delle strutture di fondazione degli aerogeneratori e montaggio degli aerogeneratori**, a tal proposito si precisa che dall'esame del layout rimodulato emerge quanto segue:
 4. **realizzazione del cavidotto interrato interno ed esterno di collegamento.**

L'impianto prevede un allacciamento alla Sottostazione di trasformazione 150/380 Kv SSE da realizzarsi in località "Palmori".

Al fine di rendere immediata l'individuazione dell'assetto idraulico che abbia validità formale, negli elaborati grafici allegati al presente studio le opere in progetto sono state ubicate su cartografia I.G.M..

1.3 Impostazione dello studio

Gli approfondimenti sull'assetto idraulico delle aree in esame saranno svolti con riferimento a tutte le opere elencate al paragrafo precedente, ad eccezione dei tratti di

strada esistenti lungo i quali è previsto l'adeguamento attraverso stabilizzazione a calce, in quanto, come già precisato innanzi, si tratta di opere provvisorie volte a consentire il solo transito dei mezzi per trasporto speciale in fase di montaggio dell'aerogeneratore, per poi ripristinare lo stato dei luoghi alle condizioni *ex ante*.

Dalla consultazione degli elaborati grafici si può notare, che alcuni tratti di cavidotto intersecano aree che sono state già studiate dalla STO dell'AdB DAM Puglia.

Il Piano di bacino stralcio Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino Interregionale della Puglia (PAI) oggi Distretto Idrografico dell'Appennino meridionale è finalizzato al miglioramento delle condizioni di regime idraulico e della stabilità dei versanti necessari a ridurre gli attuali livelli di pericolosità e consentire uno sviluppo sostenibile del territorio nel rispetto degli assetti naturali, della loro tendenza evolutiva e delle potenzialità d'uso.

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

Le finalità del PAI sono realizzate, dall'Autorità di Bacino della Puglia e dalle altre Amministrazioni competenti, mediante:

- la definizione del quadro della pericolosità idrogeologica in relazione ai fenomeni di esondazione e di dissesto dei versanti;
- la definizione degli interventi per la disciplina, il controllo, la salvaguardia, la regolarizzazione dei corsi d'acqua e la sistemazione dei versanti e delle aree instabili a protezione degli abitati e delle infrastrutture, indirizzando l'uso di modalità di intervento che privilegino la valorizzazione ed il recupero delle caratteristiche naturali del terreno;
- l'individuazione, la salvaguardia e la valorizzazione delle aree di pertinenza fluviale;
- la manutenzione, il completamento e l'integrazione dei sistemi di difesa esistenti;
- la definizione degli interventi per la difesa e la regolazione dei corsi d'acqua;
- la definizione di nuovi sistemi di difesa, ad integrazione di quelli esistenti, con funzioni di controllo della evoluzione dei fenomeni di dissesto e di esondazione, in relazione al livello di riduzione del rischio da conseguire.

Prescrizioni del PAI

Le Norme Tecniche di Attuazione (NTA) del PAI, in relazione alle condizioni idrauliche e geomorfologiche, alla tutela dell'ambiente e alla prevenzione di presumibili effetti dannosi prodotti da interventi antropici, dettano norme per le aree di cui agli artt. 6, 7, 8, 9 e 10 (relativamente all'assetto idraulico) e agli artt. 13, 14 e 15 (relativamente all'assetto geomorfologico).

In particolare, le aree di cui sopra sono definite:

- Alveo fluviale in modellamento attivo ed aree golenali (art. 6);
- Aree ad alta pericolosità idraulica (A.P.) (art. 7);
- Aree a media pericolosità idraulica (M.P.) (art. 8);
- Aree a bassa pericolosità idraulica (B.P.) (art. 9);
- Fasce di pertinenza fluviale (art. 10);
- Aree a pericolosità geomorfologica molto elevata (P.G.3) (art. 13);
- Aree a pericolosità geomorfologica elevata (P.G.2) (art. 14);
- Aree a pericolosità geomorfologica media e moderata (P.G.1) (art. 15).

Relativamente alle aree a diversa pericolosità idraulica e geomorfologia (A.P., M.P., B.P., P.G.3, P.G.2, P.G1), queste risultano realmente individuate nelle "Carte delle aree soggette a rischio idrogeologico" allegate al PAI, mentre, relativamente alle aree definite Alveo fluviale in modellamento attivo ed aree golenali (art. 6) e Fasce di pertinenza fluviale (art. 10), la loro ubicazione segue i seguenti criteri:

- Quando il reticolo idrografico e l'alveo in modellamento attivo e le aree golenali non sono arealmente individuate nella cartografia in allegato al PAI e le condizioni morfologiche non ne consentano la loro individuazione, le norme si applicano alla porzione di terreno a distanza planimetrica, sia in destra che in sinistra, dall'asse del corso d'acqua, non inferiore a 75 m.
- Quando la fascia di pertinenza fluviale non è arealmente individuata nelle cartografie in allegato al PAI, le norme si applicano alla porzione di terreno, sia in destra che in sinistra, contermina all'area golenale, come individuata al punto precedente, di ampiezza comunque non inferiore a 75 m.

Dalla consultazione degli elaborati grafici si può notare che parte delle aree di progetto sono interessate dal vincolo di Alta, Media e Bassa Pericolosità Idraulica e disciplinate dalle NTA allegare al Piano di Assetto idrogeologico dell’Autorità di Bacino della Puglia- Distretto Idrografico dell’Appennino Meridionale.

In relazione alle finalità e gli obiettivi generali del PAI, ai fini di assicurare la compatibilità con essi dei interventi sul territorio, le Norme Tecniche di Attuazione prevedono che:

- all'interno delle aree a pericolosità idraulica, tutte le nuove attività ed i nuovi interventi devono essere tali da:

- ✓ migliorare o comunque non peggiorare le condizioni di funzionalità idraulica;
- ✓ non costituire in nessun caso un fattore di aumento della pericolosità idraulica né localmente, né nei territori a valle o a monte, producendo significativi ostacoli al normale libero deflusso delle acque ovvero causando una riduzione significativa della capacità di invaso delle aree interessate;
- ✓ non costituire un elemento pregiudizievole all’attenuazione o all’eliminazione delle specifiche cause di rischio esistenti;
- ✓ non pregiudicare le sistemazioni idrauliche definitive né la realizzazione degli interventi previsti dalla pianificazione di bacino o dagli strumenti di programmazione provvisoria e urgente;
- ✓ garantire condizioni adeguate di sicurezza durante la permanenza di cantieri mobili, in modo che i lavori si svolgano senza creare, neppure temporaneamente, un ostacolo significativo al regolare deflusso delle acque;
- ✓ limitare l’impermeabilizzazione superficiale del suolo impiegando tipologie costruttive e materiali tali da controllare la ritenzione temporanea delle acque anche attraverso adeguate reti di regimazione e di drenaggio;
- ✓ rispondere a criteri di basso impatto ambientale facendo ricorso, laddove possibile, all’utilizzo di tecniche di ingegneria naturalistica.
- ✓ all’interno del reticolo idrografico, ossia l’insieme degli alvei fluviali in modellamento attivo e le aree golenali, al fine della salvaguardia dei corsi d’acqua, della limitazione del rischio idraulico e per consentire il libero deflusso delle acque, il PAI prevede che sia consentita la realizzazione di opere di regimazione idraulica e lo svolgimento di attività che non comportino alterazioni morfologiche o funzionali ed un apprezzabile pericolo per l’ambiente e le persone.

- ✓ all'interno delle fasce di pertinenza fluviale, ai fini della tutela e dell'adeguamento dell'assetto complessivo della rete idrografica, sono consentiti tutti gli interventi previsti dagli strumenti di governo del territorio, a condizione che venga preventivamente verificata la sussistenza delle condizioni di sicurezza idraulica, come definita all'art. 36 delle NTA, sulla base di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica subordinato al parere favorevole dell'Autorità di Bacino.

Trattandosi di interventi di ampliamento di infrastrutture pubbliche, gli stessi sono sempre consentiti a prescindere dall'esistenza del vincolo di pericolosità idraulica di qualsiasi grado, tuttavia l'AdB richiede, in funzione della valutazione del rischio ad essi associato, la redazione di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica che ne analizzi compiutamente gli effetti sul regime idraulico a monte e a valle dell'area interessata.

2 ANALISI MORFOLOGICA

2.1 Inquadramento generale dell'assetto dell'area. Analisi morfologica e morfometrica dei bacini idrografici

Il territorio di interesse ricade all'interno del bacino del T. Candelaro che ricade nell'ambito dei Bacini fluviali con alimentazione appenninica.



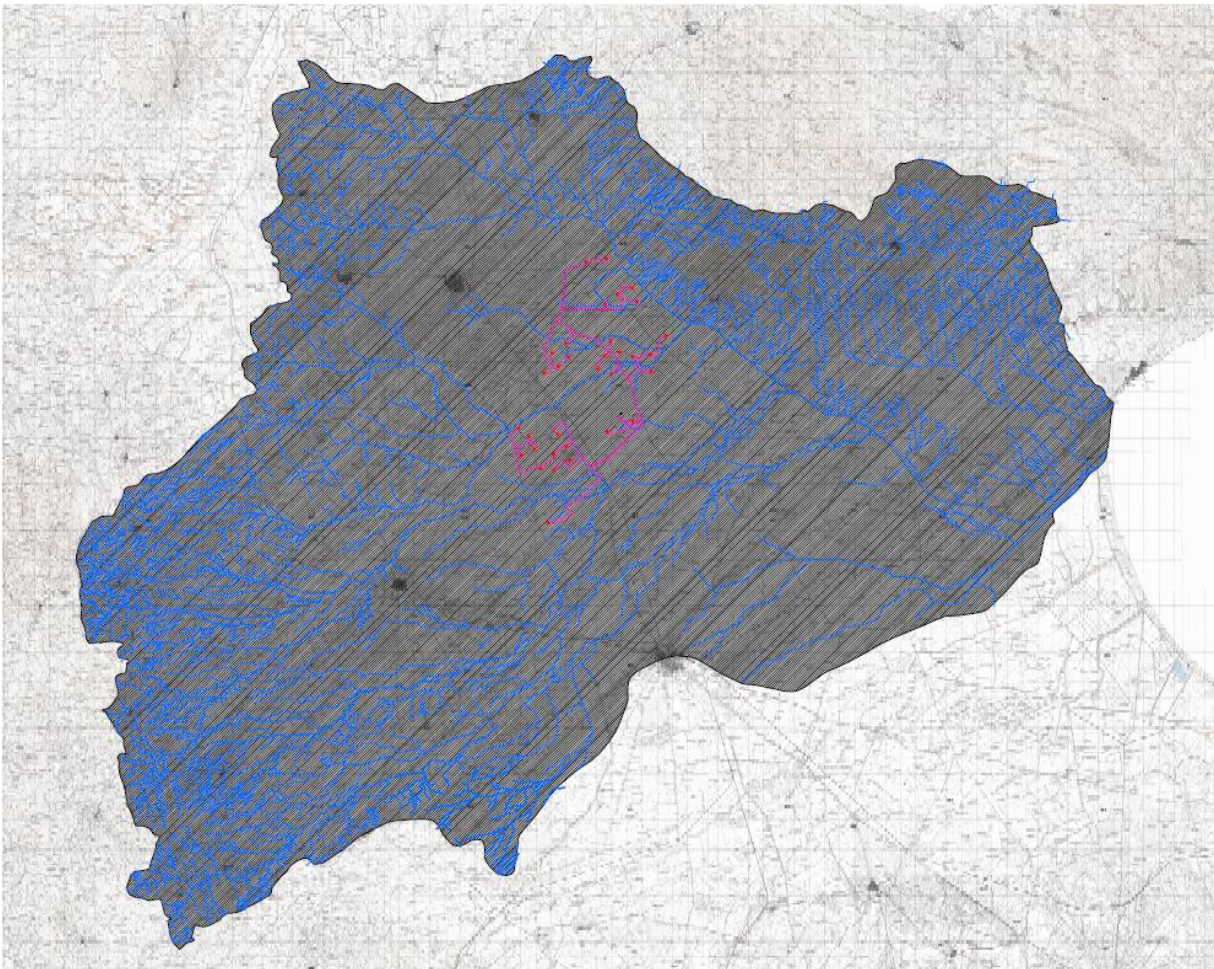


Figura 2 Bacino T. Candelaro

Come noto, il bacino idrografico del torrente Candelaro, nonché le singole aste torrentizie che ne compongono il reticolo, sono stati oggetto di estesi interventi di bonifica, così come previsto dalla Legge Serpieri del 1933.

L'insieme delle azioni di bonifica con le quali si è portato a termine il processo di utilizzo della risorsa terreno agricolo, ha previsto l'innalzamento del piano di campagna per colmata delle aree vallive più pianeggianti e spesso interessate da impaludamenti, mentre si garantiva lo scolo, il drenaggio, e quindi il prosciugamento, delle aree nelle zone appena più collinari che, pur presentando nel complesso una orografia poco più acclive, erano comunque interessate da ampie zone localmente pianeggianti che con difficoltà vedevano allontanarsi le acque meteoriche zenitali. La zona in esame, è stata pertanto interessata da interventi di bonifica che tramite la sistemazione idraulica del reticolo naturale nonché l'apertura di canali colatori e di drenaggio superficiale, hanno consentito lo scolo naturale

nei recettori di valle, in ordine sempre crescente fino al recapito finale rappresentato dai torrenti.

In particolare il parco eolico in progetto occupa una porzione di territorio attraversato da affluenti del T. Candelaro; quest'ultimo scorre da NW verso SE, costeggiando il Promontorio del Gargano, e riversa le proprie acque nel Golfo di Manfredonia. Il sito di progetto è ubicato in sinistra idraulica del T. Candelaro, che mostra un assetto morfologico dolcemente ondulato rappresentato da pianori posti a varie quote ed incisi da linee di impluvio secondarie afferenti al corso d'acqua principale dell'area rappresentato dal T. Candelaro, che scorre all'incirca in direzione ovest-est. Gli impluvi secondari, a carattere stagionale e saltuario, attraversano l'area in direzione NW-SW. E' evidente, quindi, che l'idrografia della zona condiziona sensibilmente la morfologia del territorio.

Dal punto di vista altimetrico, l'area degrada, attraverso pianori segnati da cigli di scarpata più o meno evidenti, passando da quote di poco superiori ai 100 m fino a circa 60 m slm.

Con la presente relazione si intende fornire un inquadramento generale dell'area dal solo punto di vista idrologico.

3 ANALISI IDROLOGICA

L'area di San Severo oggetto di approfondimenti, è situata a sud sud-est del territorio comunale. La SP n° 13 la delimita e la costeggia ad est ed a nord-est, la SS n° 160 la interseca nella parte terminale ad ovest, mentre la SP n° 20 l'attraversa nella zona mediana. Le estremità sud dell'area in esame sono pressoché coincidenti con i limiti amministrativi sud del Comune di San Severo, sconfinando, solo per una ristretta fascia, nel territorio del Comune di Lucera.

Il bacino del torrente Candelaro, in cui ricade l'area in esame, dal punto di vista geografico, orografico, fisiografico e del reticolo idrografico, abbraccia tre diverse zone; la pianura del Tavoliere, piana digradante verso l'Adriatico e che presenta una serie di terrazzi marini in parte cancellati dall'erosione ed in parte ricoperti da sedimenti alluvionali e di versante, sovrastata a nord dal promontorio del Gargano ed a ovest dalla dorsale Appenninica. L'elevato carsismo che caratterizza il Gargano, unitamente al carattere poco permeabile del Tavoliere e dei Monti Dauni, fanno sì che i lineamenti del reticolo idrografico superficiale di una qualche costanza nel regime torrentizio, siano presenti

unicamente nelle due ultime suddivisioni geografiche. Per lo stesso motivo, l'alimentazione idrica superficiale al reticolo di deflusso è da imputarsi essenzialmente al Sub-Appennino ed al Tavoliere stesso; solo marginalmente, in occasione di rovesci intensi, il Gargano contribuisce agli scorrimenti superficiali, il cui recapito finale resta comunque lo stesso torrente Candelaro, la cui sinistra idraulica è contermina ai piedi del promontorio.

Nel rispetto delle N.T.A. del PAI dell'Autorità di Bacino della Puglia, che attribuiscono ad eventi con tempo di ritorno inferiore o uguale a 30 anni il grado di Alta Pericolosità idraulica Alta (A.P.) e ad eventi con tempo di ritorno di 200 anni la verifica per il requisito della "sicurezza idraulica" lo studio idrologico è finalizzato all'analisi di eventi di piena con tempi di ritorno pari a 30, 200 e 500 anni, sì da individuare, al verificarsi di detti eventi, le eventuali criticità del reticolo indagato in corrispondenza dei ponti, le relative insufficienze idrauliche e le dinamiche idrauliche connesse alle interferenze che le strutture di attraversamento esercitano sui corsi d'acqua in esame.

Lo studio è stato condotto secondo le seguenti fasi:

- reperimento della cartografia di base (I.G.M. in scala 1:25.000, rilievi aerofotogrammetrici in scala 1:5.000 ed ortofoto) e del modello digitale del terreno (DEM) della Regione Puglia a maglia 8x8 m;
- individuazione bacini afferenti;
- definizione delle caratteristiche fisiografiche dei bacini (superficie, altitudine media, minima e massima, lunghezza massima e pendenza media dei versanti);
- analisi della piovosità sulla base delle curve di possibilità pluviometrica relative alle zone omogenee di pioggia in cui i bacini, definite negli studi "VAPI-Puglia" attraverso le procedure di regionalizzazione dei dati osservati delle precipitazioni intense, ed indicate come metodologia di riferimento nel PAI;
- determinazione delle portate di piena con tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni.

3.1 Analisi geomorfologica

Lo studio geomorfologico è stato affrontato, come già rappresentato, con l'ausilio della carta I.G.M. in scala 1:25000 e delle Ortofoto CGR in scala 1:2000. Sono state poi acquisite le carte tecniche aerofotogrammetriche delle zone di interesse in scala 1:5000,

delle quali si sono utilizzati tutti i dati vettorializzati utili ai fini di una completa rappresentazione del territorio indagato, nonché il modello digitale del terreno (DTM) della Regione Puglia a maglia 8x8 m. I dati a disposizione sono stati elaborati tramite l'applicazione di software GIS. Come già evidenziato in precedenza, tutta l'area in esame si vede interessata da una certa rete drenante che consente l'allontanamento ed il collettamento delle acque meteoriche.

Di seguito, la tabella riportante le principali grandezze fisiografiche per il bacino idrografico così determinati, calcolate propedeuticamente alla successiva applicazione della metodologia VAPI.

CARATTERISTICHE FISIOGRAFICHE DEL BACINO IDROGRAFICO DEL T. CANDELARO					
Area (Km²)	SI_{ave} (%)	H_{min} (m s.l.m.)	H_{max} (m s.l.m.)	H_{ave} (m s.l.m.)	L_{max} (Km)
2331	6.58	0.9	1147.21	194.95	70

Effettuato lo studio morfologico del bacino in esame, si è quindi individuata, in base alle caratteristiche ed in conformità a quanto stabilito dalla relazione di piano allegata al PAI, la metodologia più idonea per le successive analisi idrologiche con l'approccio più oggettivo.

Il D.P.C.M. 29.09.1998, in materia di difesa del suolo, stabilisce che *“Ove possibile è consigliabile che si traggano i valori di riferimento della portata al colmo di piena, con assegnato tempo di ritorno, dalle elaborazioni eseguite dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale, oppure dai rapporti tecnici del progetto Va. Pi. messo a disposizione dal G.N.D.C.I.- C.N.R.”.*

Il reticolo in esame, rispetto alla possibilità di disporre di misurazioni delle altezze idrometriche e delle necessarie elaborazioni da parte del Servizio Idrografico e Mareografico, non presenta sezioni strumentate nel punto di interesse ma ve ne sono diverse nelle aree circostanti.

Le citate stazioni idrometriche sono state tutte utilizzate per la sperimentazione e per la taratura del modello di regionalizzazione delle piene proprio del progetto Va. Pi. Puglia, attraverso l'applicazione del metodo razionale per la valutazione della piena indice. La metodologia del progetto Va.Pi., che propone la stima indiretta della piena indice nella sezione di chiusura del bacino oggetto di studio, così come specificato nel rapporto

sintetico regionale, è finalizzata allo studio di bacini di area compresa tra 10 e 2000 Km², pertanto, risulta perfettamente applicabile al caso in esame. Tuttavia, data l'assenza di stazioni idrometrografiche sul reticolo di interesse, occorre ridefinire, come meglio specificato nel seguito, alcuni dei parametri che rientrano nel modello, in ogni caso attraverso un approccio standardizzato che ne consenta la stima oggettiva anche se di non immediata determinazione, quali, ad esempio, la permeabilità dei suoli ed i tempi caratteristici dei bacini, sempre adottando quanto indicato nel suddetto metodo Va.Pi.

Restando per il momento nell'ambito dell'analisi geomorfologica, rimandando la trattazione del metodo Va.Pi. al paragrafo dedicato, di seguito si determinano le grandezze peculiari che definiscono la risposta di ognuno dei bacini afferenti ai punti considerati in termini di proprietà di laminazione del picco di piena rispetto al picco di pioggia e delle perdite idrologiche nel bilancio di piena, dovute a fenomeni legati alle caratteristiche geolitologiche e di saturazione dei terreni.

Inoltre, nell'individuazione delle caratteristiche morfologiche, per le successive analisi pluviometriche, riveste particolare importanza la scelta della durata dell'evento, che di norma si assume pari al tempo critico di risposta del bacino oggetto di studio, assimilabile al tempo di corrivazione. È quindi fondamentale la determinazione di detta grandezza che deve essere desunta, anche quest'ultima, attraverso procedure appropriate alla tipologia del bacino ed in conformità con il metodo del progetto Va.Pi..

- **Determinazione del coefficiente probabilistico di piena C^* e del tempo di ritardo dei bacini attraverso l'applicazione della metodologia Va.Pi.:** 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. Questo dipende essenzialmente dalle dimensioni del bacino idrografico e dalle sue caratteristiche morfologiche, geolitologiche e d'uso del suolo. Tramite procedure di regionalizzazione, si sono ricercate delle relazioni tra C^* e le caratteristiche di permeabilità associate alla geologia, ritrovando che l'influenza della geolitologia si può ritenere prioritaria rispetto a quella della copertura del suolo. Si sono quindi messe in relazione le informazioni inerenti la geologia dei bacini attraverso le percentuali di area occupate da ognuno dei litotipi individuati tenendo conto, per quanto

possibile, del comportamento della formazione rispetto alla permeabilità ad una scala temporale relativamente breve, quale quella che caratterizza i fenomeni di piena, suddividendo i litotipi in classi di permeabilità. Allo scopo di stabilire dei criteri semplici che fornissero indicazioni di massima a fronte di una composizione geolitologica dei bacini notevolmente variegata, si sono individuate tre classi di permeabilità: elevata (PE), media (PM) e nulla (I), con pesi rispettivamente pari ad 1, 0.64 e pari a 0.

Nel seguito si rappresentano la tabella estratta dal rapporto sintetico del progetto Va.Pi. riportante la corrispondenza tra i litotipi presenti nei bacini utilizzati nel processo di regionalizzazione e le classi di permeabilità, e la tabella delle percentuali di permeabilità. Si allega lo stralcio planimetrico riguardante la macroclassificazione del bacino secondo le tre classi di permeabilità, successivamente intersecata con le urbanizzazioni e l'uso del suolo.

Cod.	Sezione	PE	PM	I
1.0	Ofanto a S.Samuele di Cafiero	0.619	0.006	0.375
1.1	Ofanto a Cairano	0.149	0	0.851
1.2	Atella a P.te sotto Atella	0.446	0	0.554
1.4	Ofanto a Rocchetta S.Antonio (Monteverde Scalo)	0.246	0	0.754
1.5	Arcidiaconata a P.te Rapolla Lavello	0.827	0	0.166
1.6	Lapilloso a P.te s.s. 168	0.378	0.508	0.114
1.7	Venosa a P.te Ferroviario	0.833	0	0.167
1.8	Venosa a P.te S.Angelo	0.799	0.055	0.146
1.9	Locone a P.te Brandi	0.871	0	0.129
2.0	Carapelle a Carapelle	0.538	0.0565	0.405
3.0	Cervaro ad Incoronata	0.373	0.2	0.427
4.0	Candelaro a Strada Bonifica N.24	0.855	0.064	0.081
4.1	Celone a S.Vincenzo	0.612	0.388	0
4.3	Celone a P.te F.S. Foggia-S.Severo	0.835	0.165	0
4.4	Vulgano a P.te Troia-Lucera	0.664	0.297	0.039
4.5	Salsola a Casanova	0.724	0.197	0.079
4.6	Casanova a P.te Lucera-Motta	0.642	0.313	0.046
4.7	Salsola a P.te Foggia-S.Severo	0.834	0.138	0.025
4.8	Triolo a P.te Lucera-Torremaggiore	0.823	0.177	0
4.9	Canale S.Maria a P.te Lucera-Torremaggiore	0.942	0.058	0

Litotipo	Classe di permeab.
Dep. lacustri, lagunari, di duna, alluvionali, colluviali ed eluviali (terre rosse) Olocene	PE
Detriti di falda. Olocene	PE
Depositi alluvionali terrazzati. Pleistocene Superiore	PE
Depositi marini terrazzati. Pleistocene Superiore	PE
Depositi fluvio-lacustri dei bacini di Venosa ed Atella. Pleistocene Medio-Inf.	PE
Conglomerato di Irsina. Pleistocene Medio-Inferiore	PE
Piroclastiti e lave del Monte Vulture. Pleistocene	PE
Argille e sabbie di Avanfossa. Pliocene-Pleistocene	I
Calcareniti di Gravina. Pliocene Superiore-Pleistocene Inferiore	PE
Dep. clastici del bac. intermont. dell'alta valle del F.Ofanto. Pliocene Medio-Inf.	I
Formazione di Altavilla Irpina. Messiniano	PE
Formazione della Daunia. Burdigaliano-Serravalliano	PM
Formazione di Serra Palazzo. Langhiano-Serravalliano	PE
Formazione di Gorgoglione. Burdigaliano-Serravalliano	PE
Formazione di Castelvetero. Burdigaliano-Serravalliano	I
Formazione di Stigliano. Aquitaniano-Burdigaliano	PE
Argille varicolori. Cretacico Superiore-Oligocene	I
Depositi carbonatici della Murgia Apula. Cretacico Inferiore-Giura Superiore	PE
Dep. carbonatici dei M.ti Picentini (unità Alburno-Cervati), Cretacico Sup.-Giura Sup.	PE
Zone urbane	I

Nella pubblicazione del progetto Va.Pi. viene fornita la mappatura dei valori di C^* riferiti alle sezioni strumentate, così come l'estratto sotto riportato.

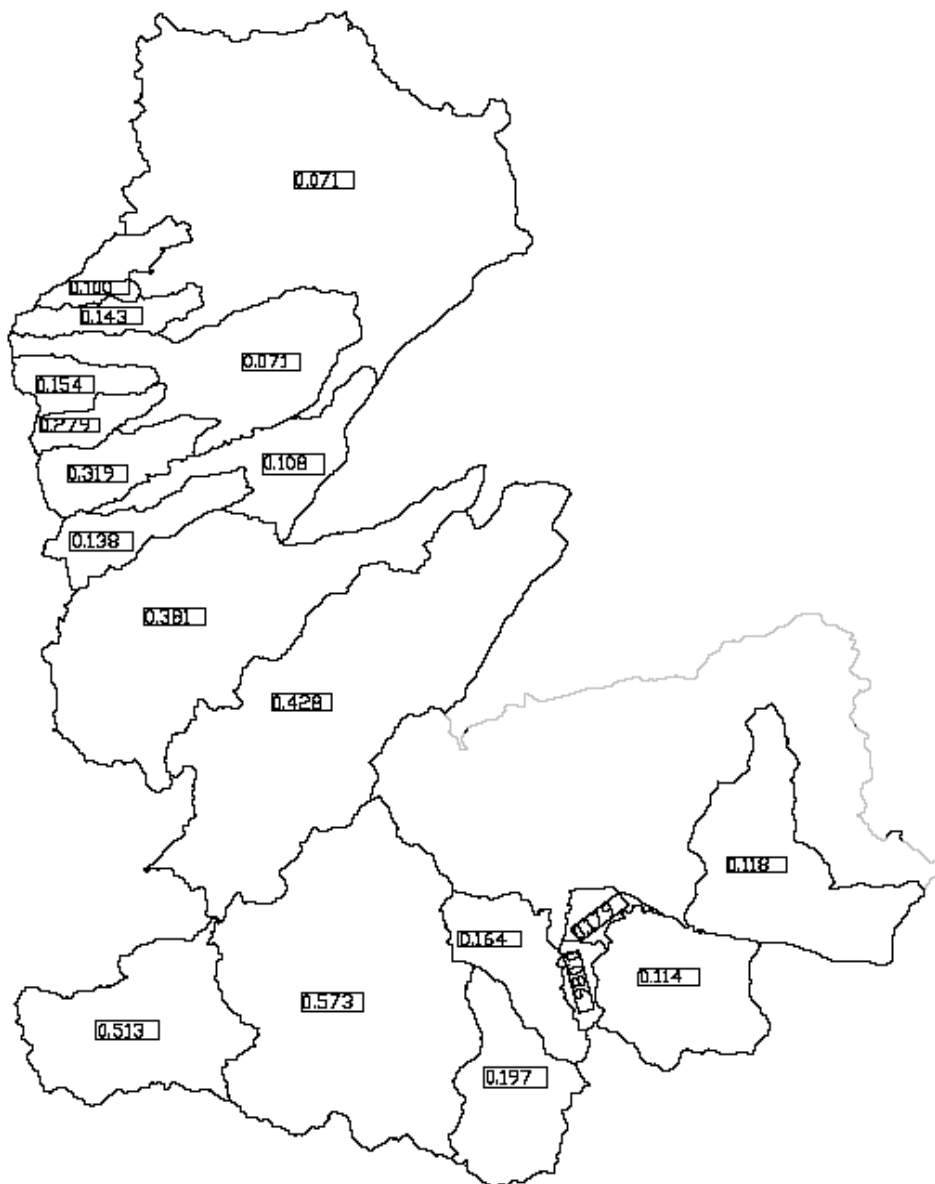


Fig. 10.11. Coefficienti probabilistici di piena (C_p) relativi alle diverse aree delimitate dai bacini idrografici della Puglia Settentrionale sottesi dalle stazioni del S.I.M.I.

Alla maniera suggerita nella pubblicazione dello stesso progetto Va.Pi., nel caso in cui non possa essere utilizzabile l'informazione su C^* fornita dalla mappatura sopra riprodotta, per la determinazione del coefficiente probabilistico di piena va fatto ricorso all'informazione costituita dalla geologia attraverso l'applicazione della relazione:

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

Operativamente, si attribuiscono alle formazioni geo-litologiche i valori di permeabilità connessi alle tre macro classi di riferimento ed effettuate le sovrapposizioni cartografiche con la superficie dei bacini considerati, si ottengono delle mappe che rappresentano aree a permeabilità, alta, media o bassa, omogenee. Il parametro PP della formula precedente indica la percentuale di superficie del bacino ad elevata permeabilità.

Si passa dunque alla definizione del tempo di ritardo dei bacini che secondo il metodo Va.Pi. si calcola come:

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

in detta formulazione, ottenuta attraverso la correlazione logaritmica delle aree dei bacini con i ritardi rappresentati dalla distanza tra il baricentro dello ietogramma e quello dell'idrogramma corrispondente, il termine A rappresenta l'area dei bacini sottesi alle sezioni considerate.

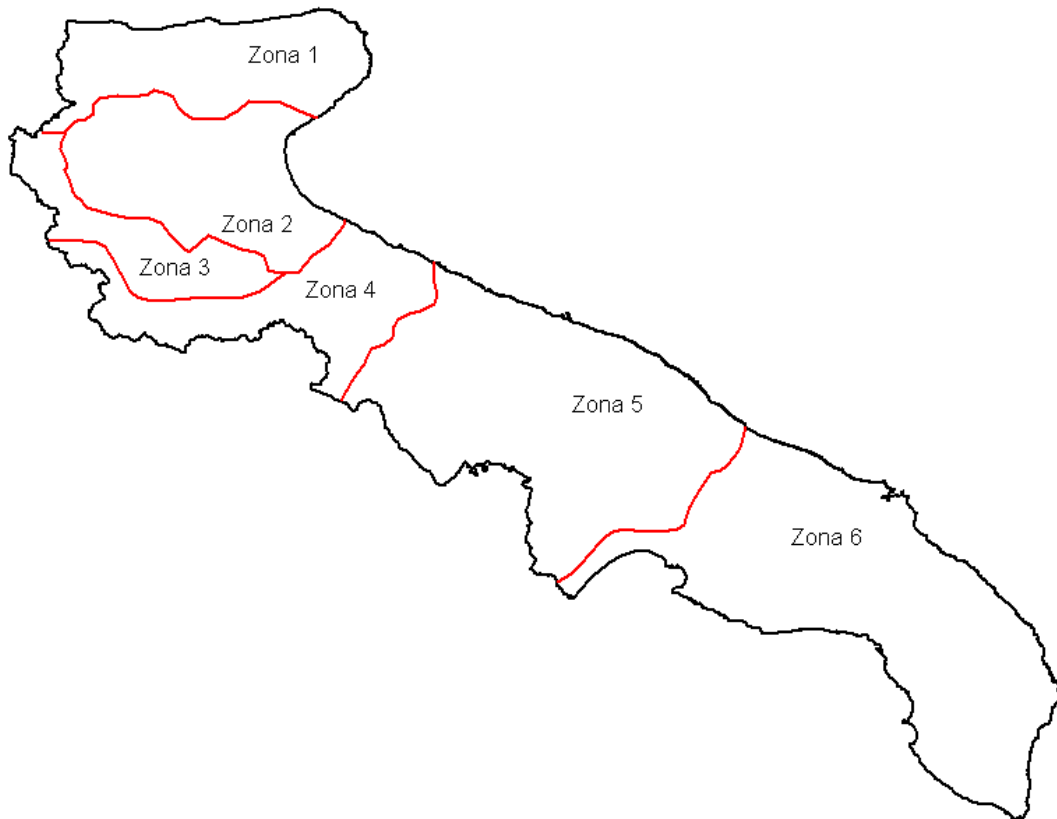
Le tabelle seguenti denotano l'estratto della pubblicazione del progetto Va.Pi. contenente i risultati dell'applicazione del metodo di regionalizzazione con riferimento alle stazioni strumentate.

Cod	Sezione	Area (Km ²)	\bar{x} (m ³ /s)	$t_r(A)$ (h)	$I(t_r)$ (mm/h)	C^*	$\frac{A \cdot I(t_r)}{3.6}$
1.0	Ofanto a S.Samuele di Cafiero	2702.8	517.60	17.93	3.70	0.185	2793.5
1.1	Ofanto a Cairano	266.4	208.00	5.67	5.36	0.513	405.3
1.2	Atella a P.te sotto Atella	175.9	61.30	4.32	7.09	0.197	311.2
1.4	Ofanto a Rocchetta S.Antonio	1111.0	436.70	11.52	2.78	0.505	864.1
1.5	Arcidiaconata a P. Rap.-Lavello	123.9	44.90	3.83	7.97	0.164	274.4
1.6	Lapilloso a P.te s.s. 168	28.5	10.40	1.87	14.74	0.086	120.8
1.7	Venosa a P.te Ferroviario	204.0	39.90	4.88	6.29	0.114	350.9
1.8	Venosa a P.te S.Angelo	263.0	55.80	5.56	5.48	0.140	397.6
1.9	Locone a P.te Brandi	219.4	43.30	5.09	6.01	0.118	365.8
2.0	Carapelle a Carapelle	714.9	283.70	9.23	3.31	0.428	662.4
3.0	Cervaro ad Incoronata	539.3	215.80	7.99	3.78	0.381	566.5
4.0	Candelaro a Str. Bonifica N.24	1777.9	140.70	14.55	2.79	0.102	1384.2
4.1	Celone a S.Vincenzo	92.5	31.80	3.19	9.70	0.138	231.1
4.3	Celone a P.te Foggia-S.Severo	233.5	45.70	5.50	5.44	0.118	386.8
4.4	Vulgano a P.te Troia-Lucera	94.1	74.70	3.34	8.98	0.319	234.5
4.5	Salsola a Casanova	44.1	45.50	2.26	13.63	0.279	163.2
4.6	Casanova a P.te Lucera-Motta	57.3	27.50	2.49	12.28	0.154	178.4
4.7	Salsola a P.te Foggia-S.Severo	455.4	76.10	7.40	3.94	0.150	506.4
4.8	Triolo a P. Lucera-Torremagg.	55.9	36.50	2.52	17.04	0.143	254.6
4.9	Canale S.Maria	58.1	18.90	2.66	11.43	0.100	189.8

3.1.1 Analisi pluviometrica

In linea con quanto stabilito nel paragrafo precedente in merito agli indirizzi forniti dal D.P.C.M 29.09.1998, la determinazione della curva di possibilità pluviometrica (C.P.P.) dei bacini in studio, con riferimento agli eventi di pioggia di breve durata, è stata condotta utilizzando la metodologia propria del progetto Va. Pi. Puglia.

Il metodo Va.Pi. effettua la regionalizzazione delle piogge su sei zone omogenee, in cui è stata suddivisa la Puglia, con formulazioni diverse per ognuna di esse.



Nel VAPI l'analisi idrologica è basata sulla legge di distribuzione statistica TCEV (Rossi et al 1984); la peculiarità di questo modello è quella di riuscire a considerare anche gli estremi idrologici, che sono di fatto gli eventi che inducono un livello di pericolosità più elevato, riconducendosi al prodotto di due funzioni di distribuzione di probabilità tipo Gumbel, una che riproduce l'andamento degli eventi ordinari e l'altra che riproduce l'andamento degli eventi eccezionali. La TCEV (two components extreme value - legge di distribuzione di probabilità del Valore Estremo a Doppia Componente) ha la caratteristica di conferire al modello idrologico maggiore flessibilità e capacità di adattamento alle serie di dati disponibili, tuttavia occorre disporre di una serie storica di dati sufficientemente lunga per non incorrere in errori di campionatura. Tale legge rappresenta la distribuzione del massimo valore conseguito, in un dato intervallo temporale, da una variabile casuale distribuita secondo la miscela di due leggi esponenziali, nell'ipotesi che il numero di occorrenze di questa variabile segua la legge di Poisson (Rossi e Versace, 1982: Rossi et al 1984).

Il modello proposto ammette che le due componenti, quella straordinaria e quella ordinaria, appartengano a popolazioni diverse ma tuttavia interferiscono tra loro seguendo un processo poissoniano. Il processo individua una variabile X che rappresenta il massimo valore in una certa durata D , di una variabile casuale Y distribuita secondo la miscela di due esponenziali (Y_1 e Y_2) con funzione di probabilità cumulata (CDF):

$$FY(y) = [Y \leq y] = p(1 - e^{-y/\Theta_1}) + (1-p)(1 - e^{-y/\Theta_2}); Y \geq 0 \quad 0 < p \leq 1$$

dove gli indici 1 e 2 si riferiscono alla componente ordinaria e straordinaria e p indica la proporzione della prima componente nella miscela.

Il numero di occorrenze K , cioè il numero di superamenti della variabile Y , in una durata D , è distribuito secondo la legge di Poisson con parametri uguali a Λ_1 e Λ_2 tali che:

$$\Lambda = \Lambda_1 + \Lambda_2 = E[Kt]$$

in cui Λ rappresenta la funzione parametro del processo, espressa come la media dei superamenti. Ipotizzando che Y_1 e Y_2 siano distribuite esponenzialmente con valori medi:

$$\Theta_1 = E[Y_1] \quad \Theta_2 = E[Y_2]$$

l'equazione diventa:

$$F_{kt}(k) = \exp[-\Lambda_1 \exp(-k/\Theta_1) - \Lambda_2 \exp(-k/\Theta_2)]$$

che definisce la distribuzione TCEV.

La probabilità p_2 che un certo valore della X provenga dalla componente straordinaria è espresso dalla relazione:

$$p_2 = -\Lambda^* / \Theta^* \sum_j (-1)^j / j! \Lambda^{*j} \Gamma(j+1 / \Theta^*)$$

nella quale Γ è la funzione speciale e:

$$\Theta^* = \Theta_2 / \Theta_1, \quad \Lambda^* = \Lambda_2 / (\Lambda_1^{1/\Theta^*})$$

Se si dispone di un campione $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ della variabile X (massimo annuale delle Y) osservato in n anni, la stima dei parametri della distribuzione può essere effettuata utilizzando le serie dei massimi annuali applicando il metodo della massima verosimiglianza (ML).

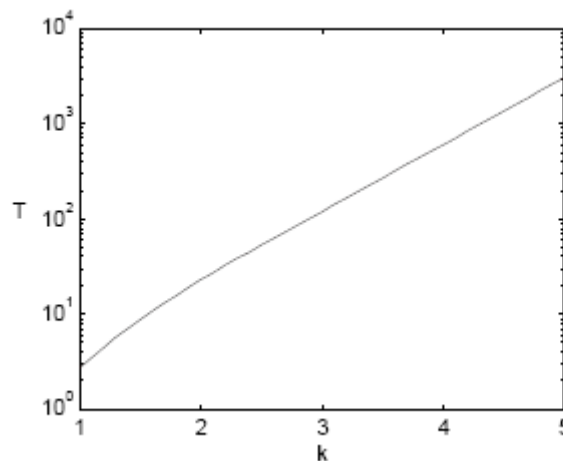
L'identificazione dei parametri della distribuzione TCEV consente di costruire un modello regionale con struttura gerarchica, basata su tre livelli di regionalizzazione, grazie a cui è possibile individuare regioni in cui risulta costante il coefficiente di asimmetria (G), quindi risultano costanti i due parametri Θ^* e Λ^* ad esso legati (primo livello di regionalizzazione), e sottoregioni di queste, più limitate, in cui sia costante anche il coefficiente di variazione, e quindi il parametro Λ_1 che da esso dipende (secondo livello di regionalizzazione). Il terzo livello è poi finalizzato alla ricerca di eventuali relazioni esistenti, all'interno di più piccole aree, tra il parametro di posizione della distribuzione di probabilità della X e le caratteristiche morfologiche. In particolare si nota che, all'interno di dette aree, i valori medi dei massimi annuali delle precipitazioni di diversa durata sono o costanti o strettamente correlati alla quota del sito di rilevamento. L'analisi condotta per l'intero territorio pugliese suggerisce la presenza di una unica zona omogenea di primo livello (cioè caratterizzate dalla costanza di Θ^* e Λ^*), comprensiva di tutte le stazioni della Puglia, e di due sottoregioni omogenee al secondo livello.

L'analisi regionale dei dati di precipitazione al primo e al secondo livello di regionalizzazione è finalizzata alla determinazione delle curve regionali di crescita della grandezza in esame. In particolare per utilizzare al meglio le caratteristiche di omogeneità spaziale dei parametri della legge TCEV (CV e G), è utile rappresentare la legge $F(X_t)$ della distribuzione di probabilità cumulata del massimo annuale di precipitazione di assegnata durata X_t come prodotto tra il suo valore medio $\mu(X_t)$ ed una quantità $K_{T,t}$, detta fattore probabilistico di crescita, funzione del periodo di ritorno T e della durata t , definito dal rapporto:

$$K_{t,T} = X_{t,T} / \mu(X_t) \quad (a)$$

La curva di distribuzione di probabilità del rapporto (a) corrisponde alla curva di crescita, che ha caratteristiche regionali, in quanto è unica nell'ambito della regione nella quale sono costanti i tre parametri della TCEV.

È possibile rappresentare graficamente la funzione $K_T = K_T(T)$ al variare del tempo di ritorno T_r ; si riporta nel grafico successivo tale legge di variazione.



Fattore di crescita al variare del tempo di ritorno

In alternativa alle rappresentazioni grafiche delle curve di crescita, il valore di K_T può essere ricavato direttamente in funzione di T_r attraverso una approssimazione asintotica (Rossi e Villani, 1995) della legge di crescita. È utile sottolineare che l'uso di questa approssimazione comporta una leggera sottostima del fattore di crescita, con valori che sono superiori al 5% solo per $T < 40$ anni. La relazione è la seguente:

$$K_T = a + b \ln T \quad (1)$$

in cui :

$$a = (\Theta \ln A^* + \ln A_1) / \eta$$

$$b = \Theta / \eta$$

$$\eta = \ln A_1 + C - T_0$$

T_0 è una funzione il cui valore è stato ottenuto grazie a un programma di calcolo iterativo.

Pertanto nella tabella seguente sono riportati i valori dei parametri a e b, e i relativi valori η e T_0 , che consentono di determinare nella forma (1) le leggi di crescita relative all'area in esame:

Zona omogenea	a	b	T_0	η
Puglia centro merid.	0.0183	0.6219	-0.8256	4.2673

Coefficienti utilizzabili per l'uso dell'espressione asintotica (1)

Le aree omogenee individuate al primo e secondo livello di regionalizzazione si parzializzano al terzo livello, nel quale si analizza la variabilità spaziale del parametro di posizione (media, moda, mediana) delle serie storiche in relazione a fattori locali.

Nell'analisi delle piogge orarie, in analogia ai risultati classici della statistica idrologica (Viparelli, 1964), per ciascuna stazione e stato possibile correlare il valore medio x_t dei massimi annuali della precipitazione media di diversa durata t alle durate stesse, attraverso la relazione:

$$x_t = a \cdot t^n \quad (2)$$

essendo a ed n due parametri variabili da sito a sito. Ad essa si dà il nome di curva di probabilità pluviometrica.

Si riporta la relazione tra l'altezza media di precipitazione al variare della durata, in dipendenza con la quota del sito oggetto dello studio:

$$x_t = a \cdot t^{(C \cdot h + D + \log \alpha - \log a) / \log 24} \quad (4)$$

dove:

a è il valor medio, pesato sugli anni di funzionamento, dei valori di x_1 relativi alle serie con $N \geq 10$ anni ricadenti nella zona omogenea;

$\alpha = x_g / x_{24}$ è rapporto fra le medie delle piogge giornaliere e di durata $t=24$ ore per serie storiche relative ad uno stesso periodo di misura. Per la Puglia il valore del coefficiente a è risultato in pratica costante sull'intera regione e pari a 0.89.

C e D sono i coefficienti della regressione lineare fra il valore medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere e la quota del sito di riferimento.

Il bacino del T. Candelaro ricade essenzialmente nella “zona 2”.

La curva di possibilità pluviometrica di base (C.P.P.) è la seguente:

$$\text{zona 2:} \quad x(t) = 22.23 t^{0.247}$$

appare evidente che la C.P.P. media per la zona 2 dipende unicamente dalla durata dell'evento (t), mentre per la zona 3 c'è dipendenza quota (z) sul livello del mare.

3.1.2 *Stima delle portate al colmo di piena*

Si approccia alla quantificazione delle portate al colmo di piena in coerenza con quanto esposto nei paragrafi precedenti in merito alle peculiarità dei bacini di studio, ovvero sia attraverso l'applicazione del metodo Va. Pi., che si espone nel seguito.

- **Metodo del progetto Va. Pi. Puglia:** come già accennato, il metodo si basa sull'applicazione della formula razionale. Essa esprime un legame correlativo tra la piena indice X , la superficie del bacino ed il valore medio $I(t_r)$ dei massimi annuali delle intensità di pioggia puntuali di durata pari al tempo di ritardo caratteristico del bacino. La formula viene scritta come:

$$X = I(t_r) A C^*/3.6$$

X è la piena indice espressa in m^3/s ;

C^* è il coefficiente probabilistico di piena prima definito;

t_r è il tempo di ritardo del bacino come sopra trattato;

$I(t_r)$ è la intensità di precipitazione, espressa in mm/h , e calcolata come descritto nell'analisi regionale della pluviometria.

Ai risultati ottenuti va poi applicato il coefficiente di riduzione areale K_A che tiene conto della non contemporaneità dell'evento sull'intera estensione del bacino, che viene calcolato attraverso la formulazione:

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

Altro fattore moltiplicativo della piena indice è il Fattore di Crescita K_T , funzione del tempo di ritorno dell'evento di progetto, che nel caso in oggetto è stato assunto pari a 30, 200 e 500 anni, la cui stima teorica può essere effettuata, per le zone 1-2-3-4, tutte appartenenti alla Puglia Settentrionale, con la seguente relazione approssimata:

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

Di seguito si riportano i valori singolari tabellati dal rapporto sintetico per K_T .

	Tempo di Ritorno (anni)											
	2	5	10	20	25	30	40	50	100	200	500	1000
Tabella K_T	0.8	1.3	1.8	2.3	2.5	2.6	2.9	3.1	3.7	4.3	5.2	5.84
	3	9	5	7	5	7	5	5	6	9	2	

Dato che il bacino del T. Candelaro è uno dei bacini strumentati utilizzato per tarare il modello VAPI si riportano di seguito i valori di riferimento contenuti nel rapporto Vapi

stesso:

Tab. 10.5. Caratteristiche principali delle serie inerenti il terzo livello di regionalizzazione delle piene.

Cod	Sezione	Area (Km ²)	\bar{x} (m ³ /s)	$t_r(A)$ (h)	$l(t_r)$ (mm/h)	C*	$\frac{A \cdot l(t_r)}{3.6}$
1.0	Ofanto a S.Samuele di Cafiero	2702.8	517.60	17.93	3.70	0.185	2793.5
1.1	Ofanto a Cairano	266.4	208.00	5.67	5.36	0.513	405.3
1.2	Atella a P.te sotto Atella	175.9	61.30	4.32	7.09	0.197	311.2
1.4	Ofanto a Rocchetta S.Antonio	1111.0	436.70	11.52	2.78	0.505	864.1
1.5	Arcidiaconata a P. Rap.-Lavello	123.9	44.90	3.83	7.97	0.164	274.4
1.6	Lapilloso a P.te s.s. 168	28.5	10.40	1.87	14.74	0.086	120.8
1.7	Venosa a P.te Ferroviario	204.0	39.90	4.88	6.29	0.114	350.9
1.8	Venosa a P.te S.Angelo	263.0	55.80	5.56	5.48	0.140	397.6
1.9	Locone a P.te Brandi	219.4	43.30	5.09	6.01	0.118	365.8
2.0	Carapelle a Carapelle	714.9	283.70	9.23	3.31	0.428	662.4
3.0	Cervaro ad Incoronata	539.3	215.80	7.99	3.78	0.381	566.5
4.0	Candelaro a Str. Bonifica N.24	1777.9	140.70	14.55	2.79	0.102	1384.2
4.1	Celone a S.Vincenzo	92.5	31.80	3.19	9.70	0.138	231.1
4.3	Celone a P.te Foggia-S.Severo	233.5	45.70	5.50	5.44	0.118	386.8
4.4	Vulgano a P.te Troia-Lucera	94.1	74.70	3.34	8.98	0.319	234.5
4.5	Salsola a Casanova	44.1	45.50	2.26	13.63	0.279	163.2
4.6	Casanova a P.te Lucera-Motta	57.3	27.50	2.49	12.28	0.154	178.4
4.7	Salsola a P.te Foggia-S.Severo	455.4	76.10	7.40	3.94	0.150	506.4
4.8	Triolo a P. Lucera-Torremagg.	55.9	36.50	2.52	17.04	0.143	254.6
4.9	Canale S.Maria	58.1	18.90	2.66	11.43	0.100	189.8