

PROVINCIA DI MATERA COMUNE DI SALANDRA

OGGETTO:

PROGETTO INTEGRATO DI PRODUZIONE ENERGETICA E AGRICOLA

COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DENOMINATO "SALANDRA", SITO NEL COMUNE DI SALANDRA (MT) IN CONTRADA BRADANELLI SNC, E DELLE OPERE CONNESSE ED INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI PER LA CONNESSIONE ALLA RETE DI TRASMISSIONE NAZIONALE
potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

Committente:



ibvogt

IBVI 23 S.r.l.

Sede legale: Viale Amedeo Duca d'Aosta, 76
39100 BOLZANO (BZ)

Gruppo di progettazione:

TEK
Engineering & Consulting

MDM
ENGINEERING
& CONSULTING

TEKSUD S.r.l.s.

Sede legale: Via Dante Alighieri, 298 Sc. B
74121 TARANTO (TA)
www.teksud.eu - info@teksud.eu

Coordinatore

Progettista: arch. Giovanni Dibenedetto

Progettisti: arch. R.M. Di Santo, ing. F. Di Santo

Collaboratori: ing. L. D'Andria, ing. D. Lo Noce, ing. M. Bruno,
arch. D. Pignatale, arch. A. Perez, arch. B. D'Errico

Progettazione Specialistica:

dott. ing. Michele De Marco
MDM Engineering & Consulting
Sede legale: via Rodi n. 1/A
74023 Grottaglie (TA)



TITOLO ELABORATO:

RELAZIONE IDRAULICA

CODICE ELABORATO:

SIA_ES.07

COMMESSA:

IBVI_SLN

FILE:

SLN_SIA_ES.07_RelazioneIdraulica.pdf

SCALA:

--

N. FOGLI:

39+ COPERTINA

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO
0	Novembre 2022	PRIMA EMISSIONE	M. DE MARCO	M. DE MARCO	G. DIBENEDETTO

E' vietata ai sensi di legge la divulgazione e la riproduzione del presente elaborato senza la preventiva autorizzazione di TEKSUD S.r.l.s.

 RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra",
sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc,
e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili
per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale,
potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

Sommario

1	PREMESSA	2
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	4
3	ANALISI TOPOGRAFICA	6
4	ANALISI IDROLOGICA	9
4.1	Analisi morfometrica	9
4.2	Curve di possibilità pluviometrica	11
5	ANALISI IDRAULICA	21
5.1	Massimizzazione delle portate di piena col metodo SCS	21
5.2	Il modello di pioggia distribuito (ietogramma)	27
5.3	Simulazione idraulica bi-dimensionale.....	28
5.4	Dimensionamento e verifica dei tombini idraulici	31
6	CONCLUSIONI	36
7	BIBLIOGRAFIA	38

Costituisce allegato alla presente relazione l'elaborato:
"SLN_SIA_EG.12_PlanimetriaRegimentazione"

RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

1 PREMESSA

Il presente lavoro è stato redatto su incarico della società proponente **IBVI 23 S.r.l.**, con sede legale in Bolzano (BZ) in Via Amedeo Duca d'Aosta n. 76, che intende realizzare un impianto agrivoltaico denominato "Salandra" avente potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW con relativo collegamento alla rete elettrica, ubicato nel Comune di Salandra (MT) in contrada Bradanelli snc, distinti al N.C.E.U al Foglio 10 e alle particelle riportate negli allegati progettuali di cui il proponente ha acquisito diritto di superficie con contratto preliminare registrato.

Il Comune di Salandra ricade all'interno dei bacini idrografici dei fiumi Basento-Cavone, nell'ambito di competenza della Autorità di Bacino della Regione Basilicata, l'impianto agrivoltaico in oggetto ricade all'interno del bacino idrografico del fiume Basento.

L'area oggetto di intervento non è soggetta né a vincolo per pericolosità idraulica, né a vincolo per pericolosità geomorfologica, come si desume dalla cartografia del piano di bacino, stralcio assetto idrogeologico (PAI), approvato dall'autorità di bacino della Regione Basilicata (AdB).

Tuttavia, valutata la sovrapposizione dell'area di intervento con il reticolo idrografico risulta che la stessa è interessata da corsi d'acqua naturali e quindi è soggetto alle prescrizioni di cui all'art. 6 delle N.T.A. del P.A.I. dell'AdB Basilicata.

Pertanto, il presente studio è stato redatto rapportando l'ubicazione degli interventi alle aree di tutela previste dalle suddette norme al fine di verificare la sussistenza delle condizioni di sicurezza idraulica dell'area.

Nello specifico le "Indicazioni Metodologiche" prevedono le seguenti fasi:

Fase conoscitiva:

- acquisizione della cartografia disponibile: cartografia IGM scala 1:25.000, CTN scala 1:5.000 e 1:1.000;
- acquisizione dati geometrici e topografici con strumentazione GPS;

Analisi Geomorfologica

- costruzione del Modello Digitale del Terreno;
- delimitazione del bacino idrografico e sottobacini;
- individuazione reticolo idrografico;

Analisi Idrologica

- definizione della/e curva/e di possibilità climatica mediante la metodologia VAPI

RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

- implementazione del modello idrologico
- calcolo delle portate di piena per Tr 30, 200 e 500 anni

Analisi Idraulica

- implementazione del modello idraulico bidimensionale attraverso il software di calcolo InfoWorks ICM 4.0;
- elaborazione della carta delle aree inondabili per i prefissati tempi di ritorno in ambiente ArcGIS

Tutte le analisi condotte sono state riferite alla Cartografia Tecnica Regionale nel sistema di riferimento UTM33 WGS84.

RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area d'intervento si colloca nel Comune di Salandra (MT) in contrada Bradanelli snc, distinti al N.C.E.U al Foglio 10 e alle particelle riportate negli allegati progettuali di cui il proponente ha acquisito diritto di superficie con contratto preliminare registrato.

L'impianto fotovoltaico denominato "Salandra" sarà progettato per produrre energia elettrica in collegamento alla rete di E-distribuzione (impianto grid-connected). La potenza di picco dell'impianto prevista, data dalla somma delle potenze dei pannelli fotovoltaici, risulterà pari a 70.257,60 kW, mentre la potenza nominale dell'impianto di produzione, risultante dalla somma delle potenze degli inverter, sarà pari a 70.000,00 kW.

L'opera si collegherà alla RTN tramite una linea interrata a 36kV, attestandosi alla Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione della RTN a 380/150 kV di Garaguso.

L'impianto fotovoltaico verrà realizzato a terra, nel comune di Salandra (MT), in un terreno avente superficie totale di circa 900.000 mq.



Fig. 1 - Inquadramento area di progetto su ortofoto

RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

La cartografia ufficiale disponibile sul territorio è la seguente:

- Foglio IGM 1:25.000v: 200 I-SO (Salandra);
- Tavole 49041,49042,49043 e 49044 della Cartografia Tecnica Regionale;
- DTM disponibile sul Portale Cartografico della Regione Basilicata (<http://rsdi.regione.basilicata.it>)

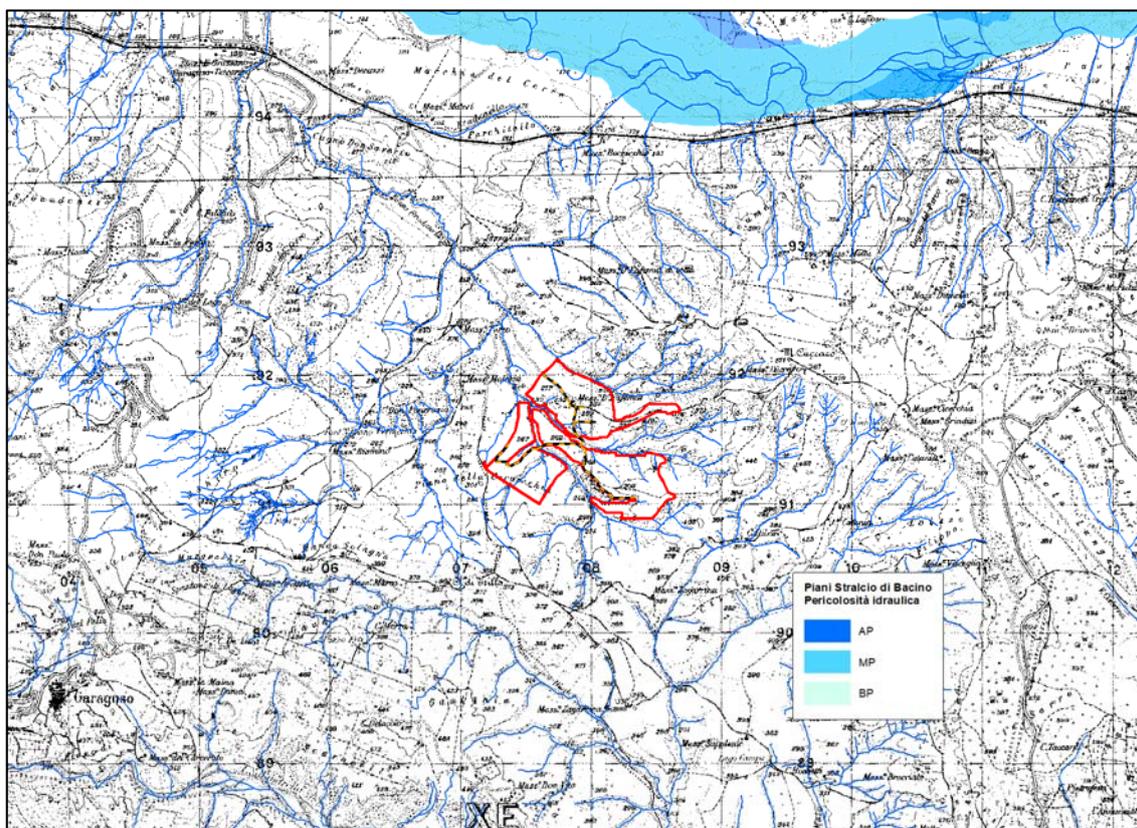


Fig. 2 - Inquadramento area di progetto su IGM e PAI vigente

L'area oggetto di intervento non è soggetta né a vincolo per pericolosità idraulica, né a vincolo per pericolosità geomorfologica, come si desume dalla cartografia del piano di bacino, stralcio assetto idrogeologico (PAI), approvato dall'autorità di bacino della Regione Basilicata (AdB).

Valutata la sovrapposizione dell'area di intervento con il reticolo idrografico risulta che l'area di impianto è interessata da corsi d'acqua naturali e quindi è soggetto alle prescrizioni di cui all'art. 6 delle N.T.A. del P.A.I. dell'AdB Basilicata.

RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

3 ANALISI TOPOGRAFICA

Il DTM della Regione Basilicata è stato assunto come base plano-altimetrica per le elaborazioni idrologiche, mentre per le elaborazioni numeriche (simulazione idraulica 2D) lo stesso è stato verificato con un rilievo aerofotogrammetrico ottenuto con l'ausilio di drone professionale radiocomandato di ultima generazione (modello DJI Phantom 4) con punti di controllo a terra ottenuti con ricevitore GNSS avanzato Topcon GRS-5. La combinazione delle due tecnologie consente di raggiungere precisioni assolute fino a 2-5 cm.

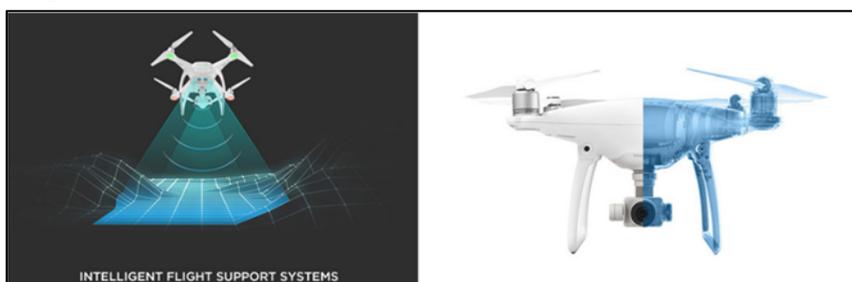


Fig. 3 – Caratteristiche del Drone utilizzato

Con l'ausilio del software professionale Pix4D Mapper Pro, il volo è stato programmato su PC, indicando le strisciate necessarie a coprire tutta l'area di interesse; la prima fase di post-elaborazione ha consentito di visualizzare le foto scattate dal drone, sistemate secondo il piano di volo, direttamente su mappa georeferenziata. Successivamente con i punti di controllo rilevati con la strumentazione GPS il sistema automaticamente ha effettuato le triangolazioni opportune al fine di restituire una vera e propria "foto" tridimensionale georeferenziata con precisione centimetrica; in questo modo ogni singolo pixel è un punto topografico tridimensionale. Si riporta di seguito il risultato delle elaborazioni:

RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

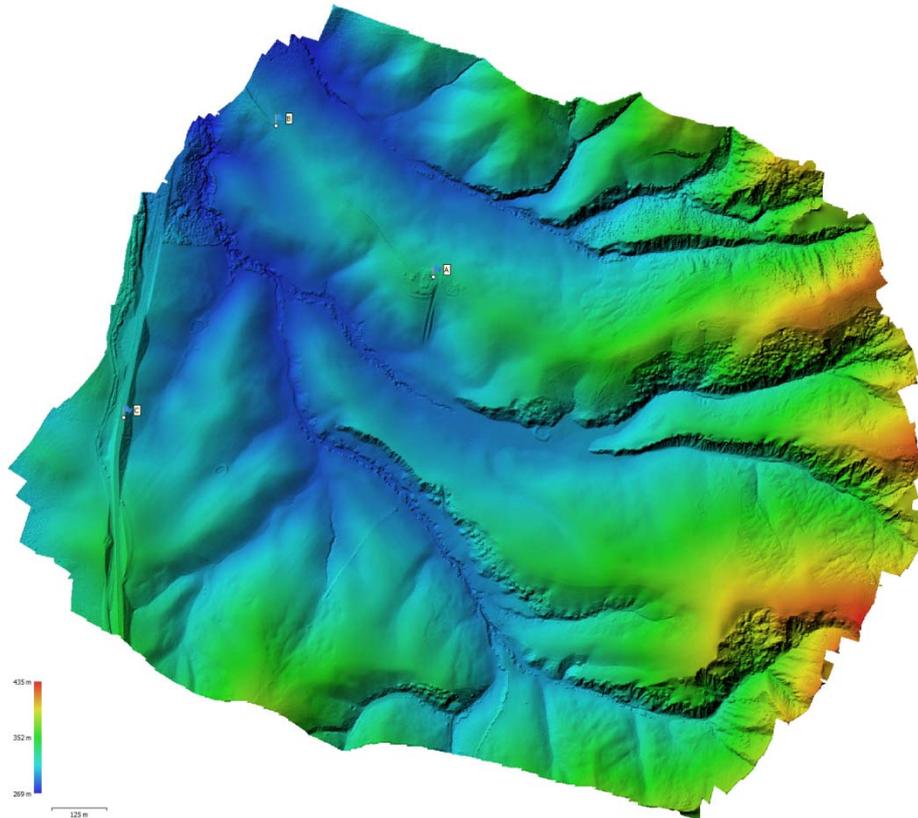


Fig. 4 - Risultato dell'elaborazione

Per lo sviluppo del progetto è stata eseguita qualche battuta topografica. Il rilievo è stato condotto direttamente nella proiezione Universal Transverse of Mercator - Datum WGS84 - zona 33N con una strumentazione GPS RTK di nuova generazione che combina i tre sistemi di posizionamento GPS, GLONASS e Galileo. Si tratta del ricevitore GNSS avanzato Topcon mod. HiPerHR del quale si riportano nel seguito alcune delle sue caratteristiche tecniche.

<p>Ricevitore GNSS Doppia Frequenza Topcon HiperHR</p>		<p>Rilievo statico: orizzontale 5mm. + 1o2 p.p.m (sqm) sulla lunghezza della base misurata (per basi < 10 Km.); verticale 10 mm.+ 2 o 3 p.p.m (sqm) sulla lunghezza della base misurata rilievo cinematica RTK: 10 mm. + 1 o 2 p.p.m. (in funzione della durata del rilievo);</p>
--	--	--

Tab. 1 – Caratteristiche dello strumento GPS utilizzato

RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra",
sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc,
e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili
per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale,
potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

Il passaggio dalle quote geodetiche strumentali a quelle riferite al livello medio del mare riportate sulla cartografia tecnica regionale, è stato condotto utilizzando quattro punti di appoggio a quota nota.

 RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

4 ANALISI IDROLOGICA

4.1 Analisi morfometrica

Il primo passo per poter svolgere un'analisi idrologica di dettaglio è rappresentato dalla definizione delle principali caratteristiche morfometriche dei bacini idrografici gravanti sull'area oggetto di studio.

La base necessaria per determinare le principali caratteristiche morfometriche dei bacini idrografici gravanti sull'area oggetto di studio è costituita dal DTM.

Utilizzando la procedura di calcolo descritta nel seguito, da una serie di modelli distribuiti del territorio (detti in seguito *griglie o matrici*) sono stati applicati particolari algoritmi che consentono di estrapolare le necessarie informazioni idrauliche del territorio.

Uno di questi algoritmi è denominato *slope* (pendenza) che concettualmente identifica la massima variazione nel valore di una cella della griglia (nel nostro caso il DEM) rispetto alle celle circostanti.

Uno dei possibili risultati di questo calcolo può essere una matrice di valori che esprime la pendenza in percentuale oppure in gradi.

In pratica l'algoritmo esegue una media quadratica della massima variazione di quota nelle quattro direzioni del piano parallele al grigliato considerando le otto celle che contornano la cella in questione.

a	b	c
d	e	f
g	h	i

$$[dz/dx] = ((c + 2f + i) - (a + 2d + g)) / (8 * x_cellsize)$$

$$[dz/dy] = ((g + 2h + i) - (a + 2b + c)) / (8 * y_cellsize)$$

Dalla matrice così ottenuta un opportuno algoritmo, diffuso in ambiente GIS, elabora la cosiddetta *flow direction grid* (griglia delle direzioni di flusso). Questa griglia contiene in ogni cella il valore codificato della direzione di massima pendenza tra la cella stessa e le celle circostanti.

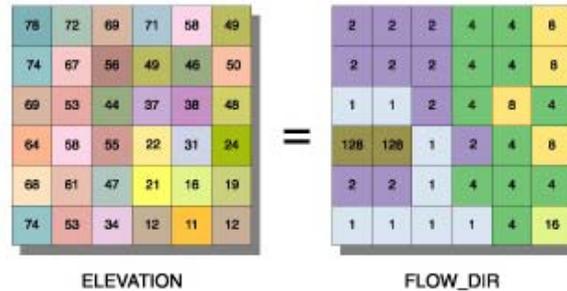
Al numero che compare in ogni cella della griglia è associato univocamente una direzione cartesiana secondo lo schema seguente:

1	Est	2	Sud-Est
4	Sud	8	Sud-Ovest
16	Ovest	32	Nord-Ovest
64	Nord	128	Nord-Est

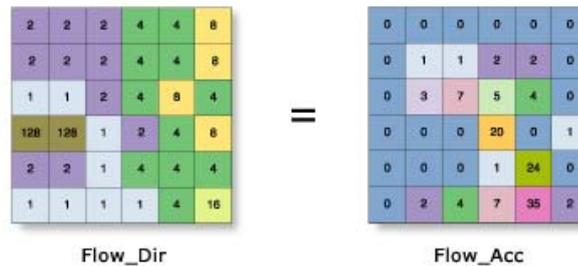
RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

Di seguito è riportato un esempio di una rappresentazione del passaggio dal DEM ad una griglia costituita dalle direzioni preferenziali dei flussi.



Definita la griglia delle direzioni di flusso un algoritmo, sempre in ambiente GIS, conta il numero di celle tributarie di ogni singola cella e ne attribuisce il valore alla corrispondente cella in una nuova griglia denominata *flow accumulation grid* (accumuli di flusso) così rappresentata:



Dalla generazione della griglia di accumulo è possibile successivamente stabilire un numero minimo di celle tributarie e "marcare" in questo modo la linea di compluvio naturale.

Queste tecniche, come si è anticipato, consentono la perimetrazione di un *bacino idrografico* oltre che la determinazione di tutti i parametri morfometrici di esso caratteristici.

RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

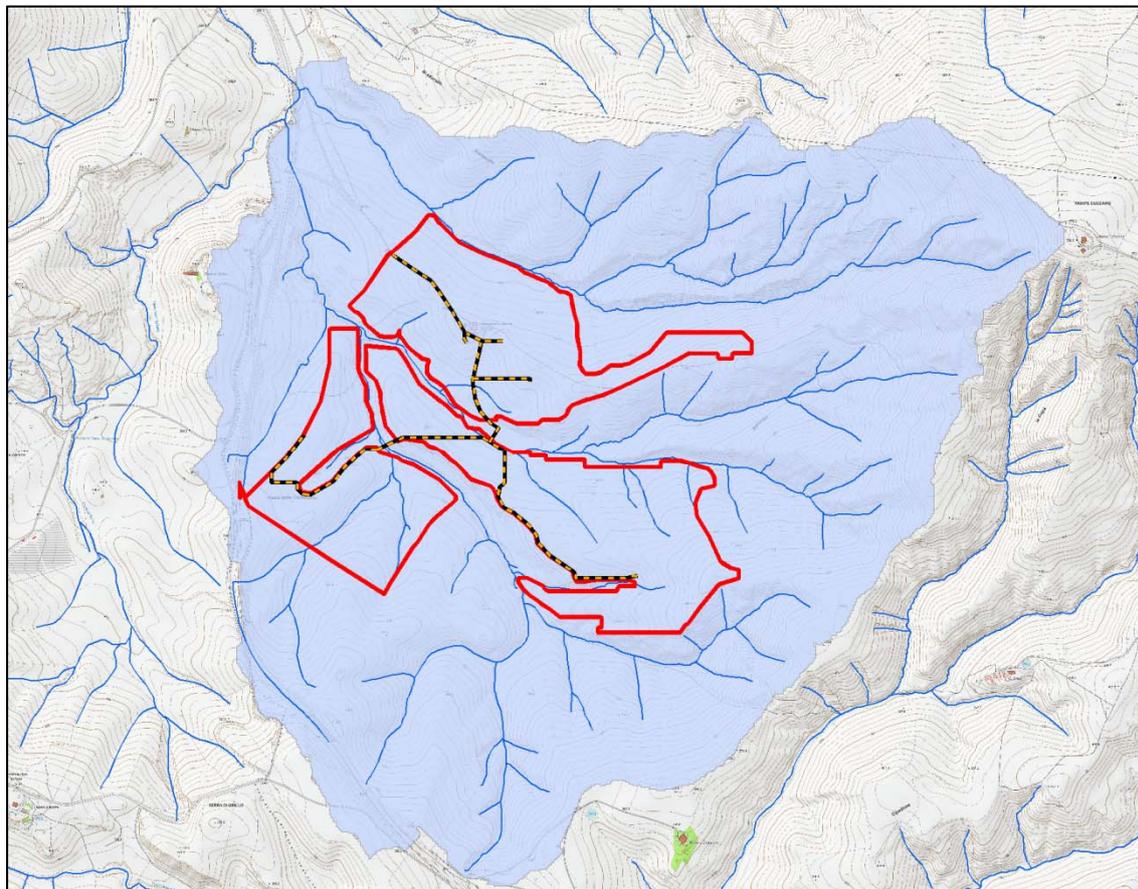


Fig. 5 - Bacino idrografico afferente all'area di studio

Le caratteristiche morfometriche del bacino idrografico così individuato sono riportate nella seguente tabella.

area (Km ²)	Slope (%)	quota media (m slm)	lunghezza asta (Km)
3.99	32.92	312.44	3.251

Tab. 2 - Caratteristiche morfometriche del bacino idrografico

4.2 Curve di possibilità pluviometrica

Ai fini dello studio idrologico, le stime effettuate sulle precipitazioni fanno riferimento ai risultati ottenuti nell'ambito del Progetto VAPI (VALutazione delle Plene) Basilicata, redatto a cura del GNDICI (Gruppo Nazionale di Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche).

 RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

Nel progetto VAPI viene proposto l'utilizzo della legge del valore estremo doppia componente (TCEV), che permette di ottenere una stima più accurata del valore delle grandezze idrologiche estreme. La TCEV presenta quattro parametri che possono essere stimati con analisi regionale qualora si individuino caratteristiche di omogeneità di un dato territorio.

Il valore corrispondente al periodo di ritorno T di una grandezza idrologica X può essere scritto come:

$$X(T) = K_T \cdot \mu(X)$$

con K_T coefficiente di crescita e $\mu(X)$ media campionaria della grandezza X.

Il coefficiente di crescita può essere determinato per tentativi mediante la relazione

$$T = \frac{1}{1 - \exp(-\Lambda_1 e^{-\eta K_T} - \Lambda_2 \cdot \Lambda_1^{1/\theta} e^{-\eta K_T / \theta})}$$

oppure mediante la relazione semplificata

$$K_T = \left(\frac{\theta \cdot \ln \Lambda_2}{\eta} + \frac{\ln \Lambda_1}{\eta} \right) + \frac{\theta}{\eta} \ln(T)$$

I parametri della relazione vengono stimati con analisi regionale.

Le "curve di probabilità pluviometrica" sono una famiglia di curve che descrivono la relazione tra l'altezza di pioggia e la durata, parametrizzate rispetto a T periodo di ritorno pertanto essa è definita mediante la seguente espressione:

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

Dove:

K_T : fattore di crescita probabilistico;

a ed n : parametri relativi alle curve di probabilità pluviometriche medie areali.

In pratica, la dipendenza dal periodo di ritorno è assegnata mediante la distribuzione di K_T , mentre i coefficienti della legge intensità-durata sono caratteristici della specifica zona in cui si trova il bacino.

La distribuzione del fattore di crescita è alla base della metodologia adottata nel progetto VAPI, che fa riferimento ad un approccio di tipo probabilistico per la valutazione dei massimi annuali delle piogge e delle portate al colmo. Facendo riferimento all'informazione idrologica disponibile sul territorio, in termini di densità spaziale di stazioni di misura e di numerosità campionaria delle serie storiche, le altezze di precipitazione giornaliere, rilevate alle stazioni pluviometriche, il VAPI

RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

ha individuato due sottozone: una sottozona Nord composta da 70 (Sottostazione A) stazioni e ed una sottozona Sud-Ovest comprendente le rimanenti 8 (Sottostazione B).

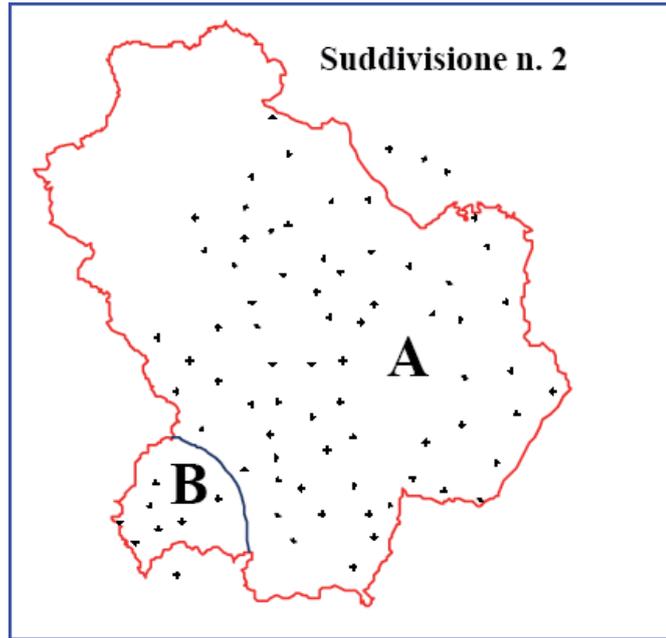


Fig. 6 – Sottozone omogenee del fattore di crescita

I parametri regionali stimati al primo ed al secondo livello sono quelli riportati nella Tabella seguente:

Sottozona	L*	q*	L1	h
A	0.104	2.632	20.64	3.841
B	0.104	2.632	55.23	4.825

Tab. 3 - Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle piogge in Basilicata

Fissati i parametri di forma e di scala della distribuzione di probabilità cumulata (DPC) all'interno della SZO pluviometrica omogenea previamente identificata, le elaborazioni del VAPI Basilicata hanno consentito di attribuire, per assegnato tempo di ritorno, a ciascuna sottozona valori costanti del fattore di crescita K_T :

T(anni)	2	5	10	20	25	30	40	50	100	200	500
$K_T(SZOA)$	0.92	1.25	1.49	1.74	1.83	1.90	2.03	2.14	2.49	2.91	3.50
$K_T(SZOB)$	0.97	1.10	1.20	1.30	1.34	1.37	1.42	1.46	1.61	1.78	2.02

Tab. 4 – Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita K_T per le piene in Basilicata, per alcuni valori del periodo di ritorno T

 RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

Nelle pratiche approssimazioni, è possibile anche fare riferimento ad una espressione asintodica del tipo:

$$K_T = \left(\frac{\theta_* \ln \Lambda_*}{\eta} + \frac{\ln \Lambda_*}{\eta} \right) + \frac{\theta_*}{\eta} \ln(T).$$

che, dati i valori assunti dai parametri della distribuzione TCEV in Basilicata, diventa:

$$(SZO A) K_T = -0.7628 + 0.6852 \ln T$$

$$(SZO B) K_T = -0.4032 + 0.5455 \ln T$$

Per valori del periodo di ritorno superiori a 25 anni, l'errore è sempre inferiore al 5 % nella **SZO B**, mentre un risultato analogo è valido per la SZO A solo a partire da **T** = 50 anni.

Al I° livello di regionalizzazione si sono assunti validi, per la Basilicata, i parametri Λ_* e θ_* nazionali. Si è infatti ritenuto che la rappresentatività delle serie dei dati disponibili fosse troppo bassa (poche serie e non eccessivamente lunghe) per mettere in discussione l'ipotesi di appartenenza della Basilicata alla zona unica nazionale nella quale Λ_* e θ_* sono ipotizzati costanti.

I valori assunti, validi per tutta l'Italia appenninica ed insulare, ad eccezione della Sardegna, sono:

$$\theta_* = 2.654; \quad \Lambda_* = 0.350$$

ai quali corrisponde un coefficiente di asimmetria teorico $C_a = 2.32$.

Al secondo livello si è effettuata, per ogni singolo sito idrometrografico, la stima regionale del parametro Λ_1 della TCEV, avendo vincolato la stima a Λ_* e θ_* per i quali si sono assunti i valori nazionali. La procedura di stima utilizzata è quella di massima verosimiglianza (MV). I risultati vengono riportati nella tabella 9.4 del rapporto di sintesi sulla Basilicata [17] (che non si riporta per brevità), in cui si è escluso il valore di Agri a Le Tempe, inammissibile: data l'ampia variabilità osservata, si è portati ad escludere l'ipotesi che i bacini lucani possano appartenere ad una sottozona unica omogenea rispetto al parametro Λ_1 . D'altra parte ciò è in accordo con la variabilità dei parametri geomorfoclimatici che è possibile notare passando da un bacino all'altro. Riguardando infatti i risultati raggruppati per bacino è possibile individuare tre sottozone omogenee, come riportato nell'immagine seguente:

 RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

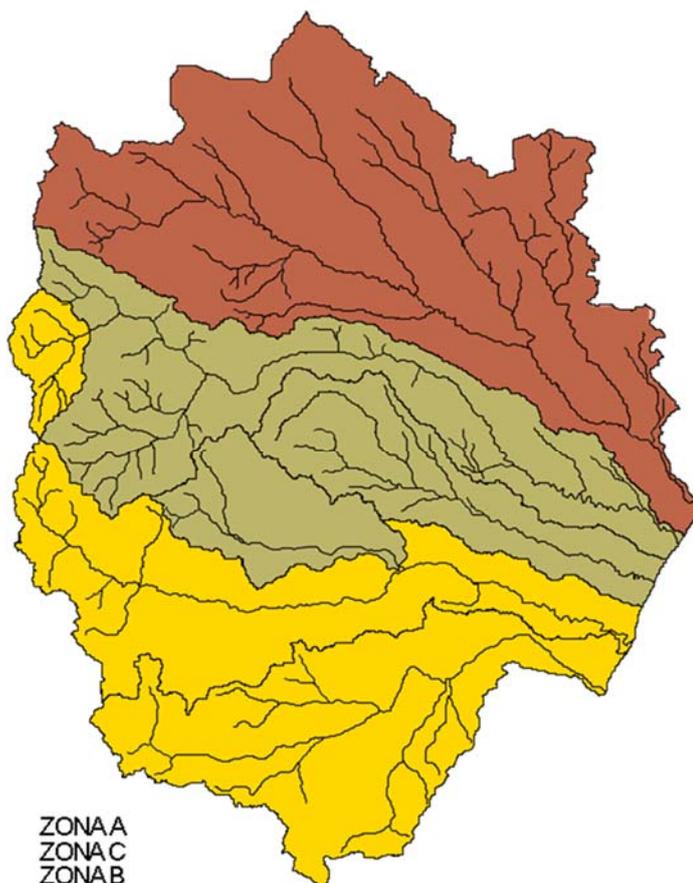


Fig.7 – Sottozone omogenee al II livello di regionalizzazione delle piene

- **Sottozona A:** si identifica praticamente con l'intero bacino del Bradano. Tale bacino è in assoluto quello caratterizzato dalla maggiore aridità di tutta la regione, caratteristica che induce bassi valori di Λ_1 , tra le altre cose, anche a causa del fatto che il suolo è il più delle volte asciutto prima delle piene. Va poi rimarcata la presenza di zone carsiche all'interno del bacino.
- **Sottozona B:** comprendente il medio e basso bacino del Basento, le cui caratteristiche sono non molto dissimili da quelle della zona **A**, anche se il numero medio degli eventi è leggermente maggiore. Ai fini di questa suddivisione, il basso Basento si può approssimativamente far iniziare a valle della città di Potenza.
- **Sottozona C:** dove si fa rientrare l'Agri, il Sinni e l'alto bacino del Basento ovvero la zona a monte di Potenza. In quest'ultima sottozona il numero degli eventi piovosi significativi ai fini delle piene è molto maggiore rispetto agli altri bacini del versante ionico.

RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

In definitiva, i valori dei parametri della distribuzione **TCEV**, per l'intera Basilicata, vengono riportati nella successiva tabella:

Sottozona	Λ^*	θ^*	Λ_1	η
A	0.350	2.654	3.56	2.598
B	0.350	2.654	7.30	3.316
C	0.350	2.654	20.8	4.363

Tab.5 – Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle piogge in Basilicata

Siriportano, inoltre, i valori di K_T per alcuni valori del periodo di ritorno:

T(anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
K_T (SZOA)	0.81	1.44	1.96	2.55	2.76	3.21	3.43	3.12	4.83	5.76	6.47
K_T (SZOB)	0.85	1.34	1.75	2.21	2.38	2.73	2.90	3.45	4.00	4.73	5.29
K_T (SZOC)	0.89	1.26	1.57	1.92	2.05	2.31	2.45	2.86	3.28	3.84	4.26

Tab.6 – Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita K_T per le piene in Basilicata, per alcuni valori del periodo di ritorno T

Adoperando l'espressione asintotica di pagina 9 i fattori di crescita possono essere calcolati con

$$(SZOA)K_T = -0.5836 + 1.022 \ln T$$

$$(SZOB)K_T = -0.2407 + 0.8004 \ln T$$

$$(SZOC)K_T = 0.0575 + 0.6083 \ln T$$

Obiettivo del terzo livello di regionalizzazione dei massimi annuali delle piogge brevi è la definizione di relazioni utili alla valutazione del valor medio della distribuzione del massimo annuale della grandezza di interesse in un generico sito, o come valore caratteristico di un'area.

Data l'elevata variabilità spaziale di tale parametro di posizione, in presenza di dati la stima migliore risulta dal calcolo diretto.

Nei siti sprovvisti di stazioni di misura o i cui dati siano giudicati inaffidabili, la stima del parametro di posizione è solitamente affidata a relazioni, che vengono istituite per aree omogenee, tra il valor medio della distribuzione del massimo annuale dell'altezza di precipitazione in durata d , $m[h(d)]$, e parametri come quota, distanza dal mare, esposizione, etc.

L'individuazione delle aree omogenee al terzo livello avviene solitamente con riferimento alle medie $m(hg)$ delle piogge giornaliere, sempre per ragioni legate alla maggiore disponibilità di stazioni e dati/stazione. Tuttavia, per la regione in indagine, precedenti analisi sulla variabilità

RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

spaziale di $m(h_g)$ [17][18] non hanno consentito di individuare aree nelle quali fossero evidenti legami quali quelli sopra accennati.

In assenza delle indicazioni su eventuali aree omogenee al III livello, l'analisi delle medie delle piogge brevi è consistita nell'identificazione delle isoiete di $m[h(d)]$, per le diverse durate, utilizzando un metodo geostatistico, il kriging. Tale metodo, a differenza di altri, consente di interpolare tenendo conto della relazione fra la varianza campionaria e la varianza spaziale dei dati, secondo un approccio di tipo stocastico.

Utilizzando tale tecnica, conoscendo i dati relativi alle 55 stazioni pluviografiche considerate nella regione in esame, sono stati calcolati i valori della stima di $m[h(d)]$ in corrispondenza dei nodi di una griglia regolare. Tramite questi valori si sono tracciate le isolinee di $m[h(d)]$, per le durate $d = 1, 3, 6, 12$ e 24 ore.

Per una pratica utilizzazione dei risultati dell'analisi precedente, la ricostruzione della legge intensità-durata nella regione viene effettuata in base alla relazione:

$$m[h(d)] = ad^n$$

Si sono interpolati i valori osservati nelle 55 stazioni di misura attraverso il kriging, ottenendo delle isolinee per i due parametri a ed n , rispettivamente in figura 6. Si noti che le isolinee del parametro a sono praticamente coincidenti con quelle di $m[h(1)]$.

Poiché non si sono individuate aree omogenee rispetto alle leggi di probabilità pluviometriche, la loro determinazione su un'area quale può essere, ad es., un bacino idrografico viene determinata a seguito di una operazione di media sui parametri a ed n della legge di pioggia. Per fornire dati utili per valutazioni idrologiche speditive, questa operazione è stata eseguita non solo per tutti i bacini monitorati in passato dal SIMN in Basilicata, incluse le aree comprese tra sezioni successive lungo il corso d'acqua, ma anche per celle di 10 Km di lato che ricoprono l'intero territorio lucano.

Per i bacini sottesi dalle sezioni monitorate dal SIMN e le aree comprese tra successivi sottobacini vengono forniti i valori dei parametri a ed n relativi alle curve di probabilità pluviometriche medie areali. Sono invece riportati in tabella 9.9 del rapporto di sintesi sulla Basilicata [17] (che non si riporta per brevità) i valori medi di $\log(a)$ e di n relativi alle celle rappresentate in figura 9 ed identificate da una numerazione che procede da Ovest verso Est e da Sud verso Nord.

Usando i valori medi di $\log(a)$ e di n relativi alle celle, si può ottenere l'espressione della legge di pioggia riferita ad un'area attraverso media pesata dei suddetti valori tra le celle che ricoprono l'area stessa.

RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra",
sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc,
e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili
per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale,
potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

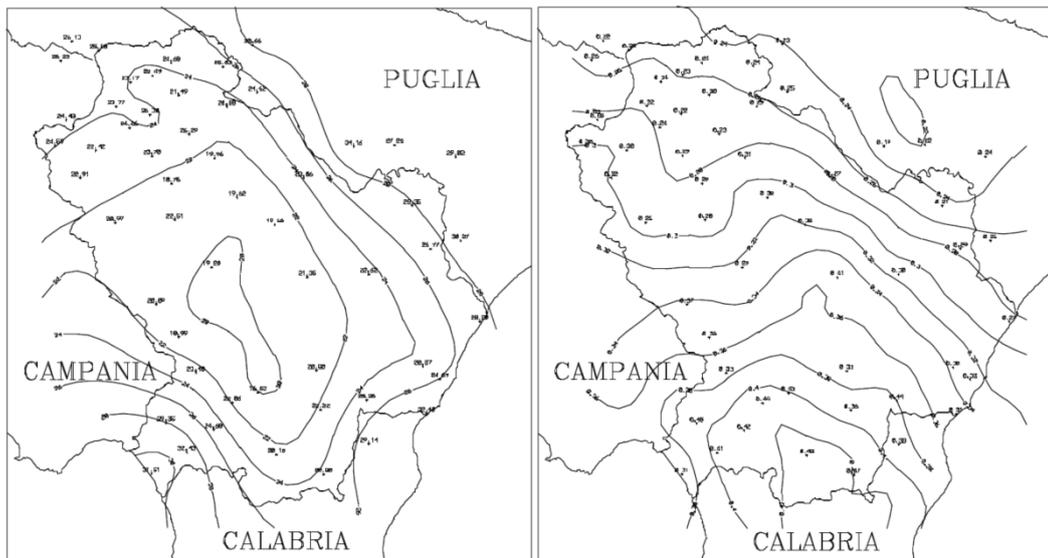


Fig.8 – Iso linee del coefficiente a e n della curva di probabilità pluviometrica

RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

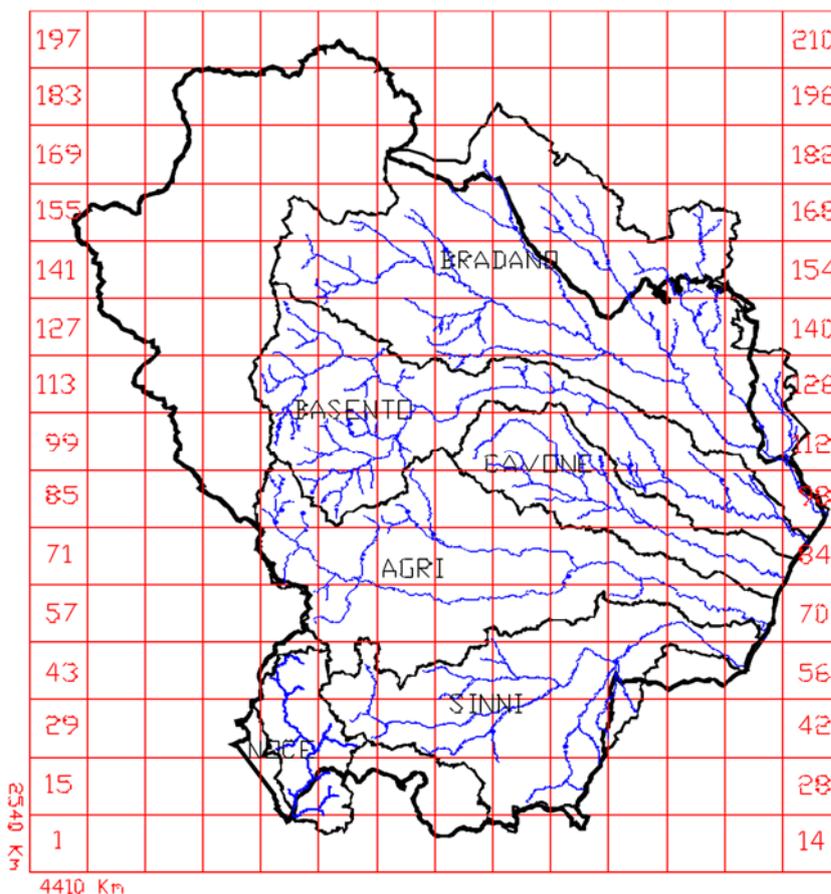


Fig.9 – Suddivisione della regione in esame in celle di lato 10 km

Adottando i risultati del V.A.P.I. Basilicata la curva di probabilità pluviometrica relativa alla zona in cui ricade l'area oggetto di intervento (quadrato num. 121) i valori dei parametri a ed n sono i seguenti:

$$a = 21,18$$

$$n = 0,359$$

Utilizzando tali valori e dall'analisi delle piogge orarie è possibile determinare la curva di possibilità pluviometrica corrispondenti a diversi valori di T compreso tra 30, 200 e 500 anni.

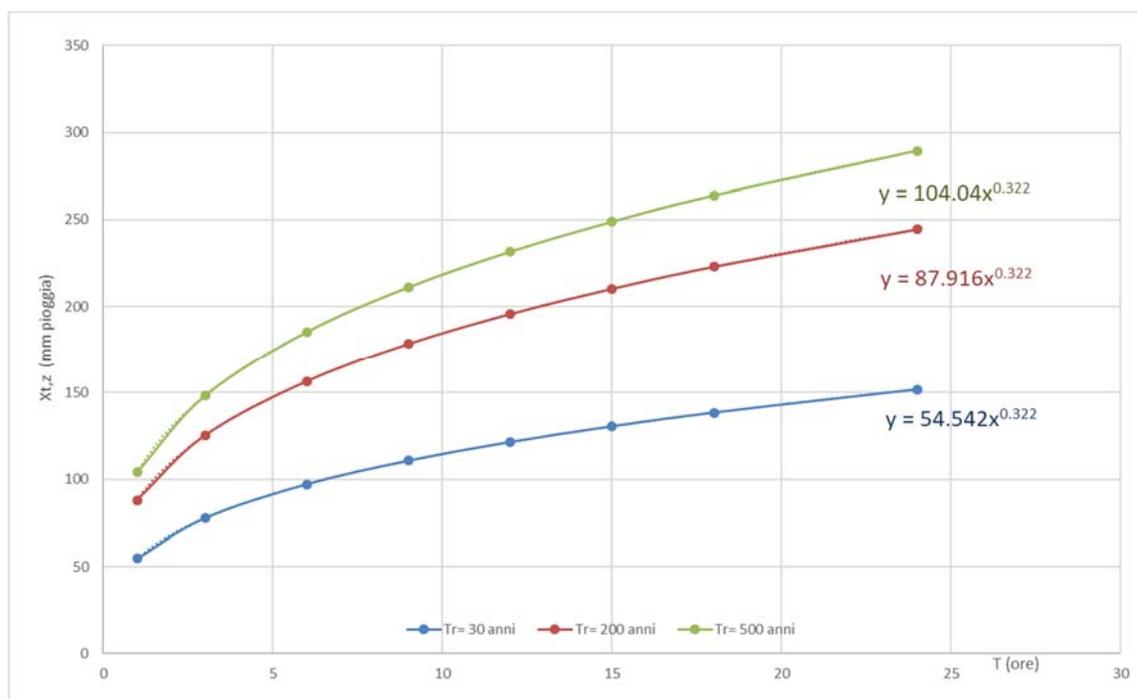
TEMPO DI RITORNO	a	n
30 anni	54.542	0.322
200 anni	87.916	0.322
500 anni	104.04	0.322

RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

Tab.7 - Valore dei coefficienti a e n

Si riportano nel seguito la rappresentazione grafica delle curve di possibilità pluviometrica e la sua equazione in funzione del tempo di pioggia.



Graf.1 - Curva di possibilità pluviometrica per Tr 30, 200 e 500 anni

 RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

5 ANALISI IDRAULICA

5.1 Massimizzazione delle portate di piena col metodo SCS

Per la determinazione degli eventi di piena si applicano modelli idrologici afflussi–deflussi basati sulle caratteristiche del bacino in forma globale.

In particolare l'analisi degli eventi critici viene affrontata applicando il **Metodo SCS** (Ferro V., 2006). Il metodo del Soil Conservation Service dà la possibilità sia della determinazione del volume della piena o della sua portata al colmo sia della completa ricostruzione dell'idrogramma di piena. Per la determinazione del volume di piena il metodo si fonda sull'ipotesi che sia sempre valida la seguente relazione:

$$\frac{V}{P_n} = \frac{W}{S}$$

in cui i termini sono espressi in millimetri e si è indicato con V il volume di deflusso, con P_n la precipitazione netta, con W l'invaso del suolo, cioè il volume idrico effettivamente immagazzinato nel suolo, e con S il valore massimo del suddetto invasivo.

La precipitazione netta si ottiene sottraendo alla precipitazione totale P le perdite iniziali dovute all'immagazzinamento superficiale, imputabile alla presenza sulla superficie del bacino di zone che, per la loro morfologia, consentono l'accumulo dei volumi idrici; all'intercettazione ad opera della copertura vegetale presente; ed all'infiltrazione prima della formazione del deflusso:

$$P_n = P - I_a$$

Tenendo conto che le perdite iniziali possono essere correlate all'invaso massimo del suolo mediante la seguente relazione:

$$I_a = 0.2S$$

e che la precipitazione netta P_n si ripartisce completamente tra il volume di deflusso superficiale e l'invaso del suolo:

$$P_n = V + W$$

Sostituendo il valore di W ricavato da quest'ultima nella prima relazione, tenendo conto dell'espressione della pioggia netta e del valore delle perdite iniziali, si perviene alla seguente relazione:

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

RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

L'applicazione di tale relazione presuppone, oltre alla conoscenza della precipitazione totale P, la stima del massimo invaso S del suolo che, teoricamente, può assumere tutti i valori positivi compresi tra zero (suolo perfettamente impermeabile) e infinito (nessuna formazione di deflusso).

La valutazione di S viene condotta mediante la seguente relazione:

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN_{III}} - 10 \right)$$

in cui figura in parametro CN, denominato *Curve Number*, che assume valori compresi tra 100 e 0. Il CN rappresenta l'attitudine del bacino esaminato a formare deflusso ed è stato stimato, per i bacini considerati, sulla base dei valori riportati, in relazione alle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale presente nel bacino.

Per quanto riguarda le caratteristiche idrologiche dei suoli, l' SCS ha effettuato una distinzione in quattro classi:

1. CLASSE A: permeabilità alta (capacità di infiltrazione molto elevata, scarsa potenzialità di deflusso).
2. CLASSE B: permeabilità media (elevata capacità di infiltrazione, moderata potenzialità di deflusso).
3. CLASSE C: permeabilità bassa (scarsa capacità di infiltrazione e saturazione, potenzialità di deflusso moderatamente alta).
4. CLASSE D: permeabilità nulla (scarsissima capacità di infiltrazione e saturazione, potenzialità di deflusso molto elevata; pressoché impermeabili).

Il metodo tiene conto delle condizioni di umidità del suolo antecedenti all'inizio dell'evento (Antecedent Moisture Conditions, AMC) e a tal fine va precisato che i valori di CN riportati in tabella 5 si riferiscono a condizioni medie del parametro AMC denominato per questo AMCII.

RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

Tipo di copertura	A	B	C	D
Aree agricole con presenza di spazi naturali	62	71	78	81
Aree Urbane	98	98	98	98
Area residenziale	77	85	90	92
Cava	60	60	60	60
Distretti industriali	81	88	91	93
Bacini di acqua	100	100	100	100
Colture erbacee da pieno campo a ciclo primaverile estivo	72	81	88	91
Colture orticole a ciclo estivo-autunnale/primaverile	72	81	88	91
Colture orticole a ciclo primaverile-estivo	72	81	88	91
Colture temporanee associate a colture permanente	62	71	78	81
Frutteti e frutti minori non irrigui	62	71	78	81
Frutteti e frutti minori irrigui	72	81	88	91
Oliveti irrigui	72	81	88	91
Oliveti non irrigui	62	71	78	81
Prati stabili non irrigui	30	58	71	78
Seminativi in aree non irrigue	62	71	78	81
Sistemi colturali e particellari complessi	72	81	88	91
Vigneti irrigui	72	81	88	91
Vigneti non irrigui	62	71	78	81
Zone boscate	45	66	77	83

Tab. 8 - Valori del coefficiente CN per la condizione AMC II

La stima del CN presuppone, inizialmente, la determinazione del gruppo idrologico di ciascun suolo ricadente all'interno del bacino e, all'interno di ciascun gruppo, l'individuazione di aree omogenee per destinazione d'uso, sistemazione e condizione idrica.

A ciascuna area omogenea, di nota superficie, viene attribuito l'appropriato CN sulla base di quelli riportati nella tabella 4; il valore di CN dell'intero bacino si ottiene come media pesata, con peso la superficie, dei valori stimati per le singole aree omogenee.

RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

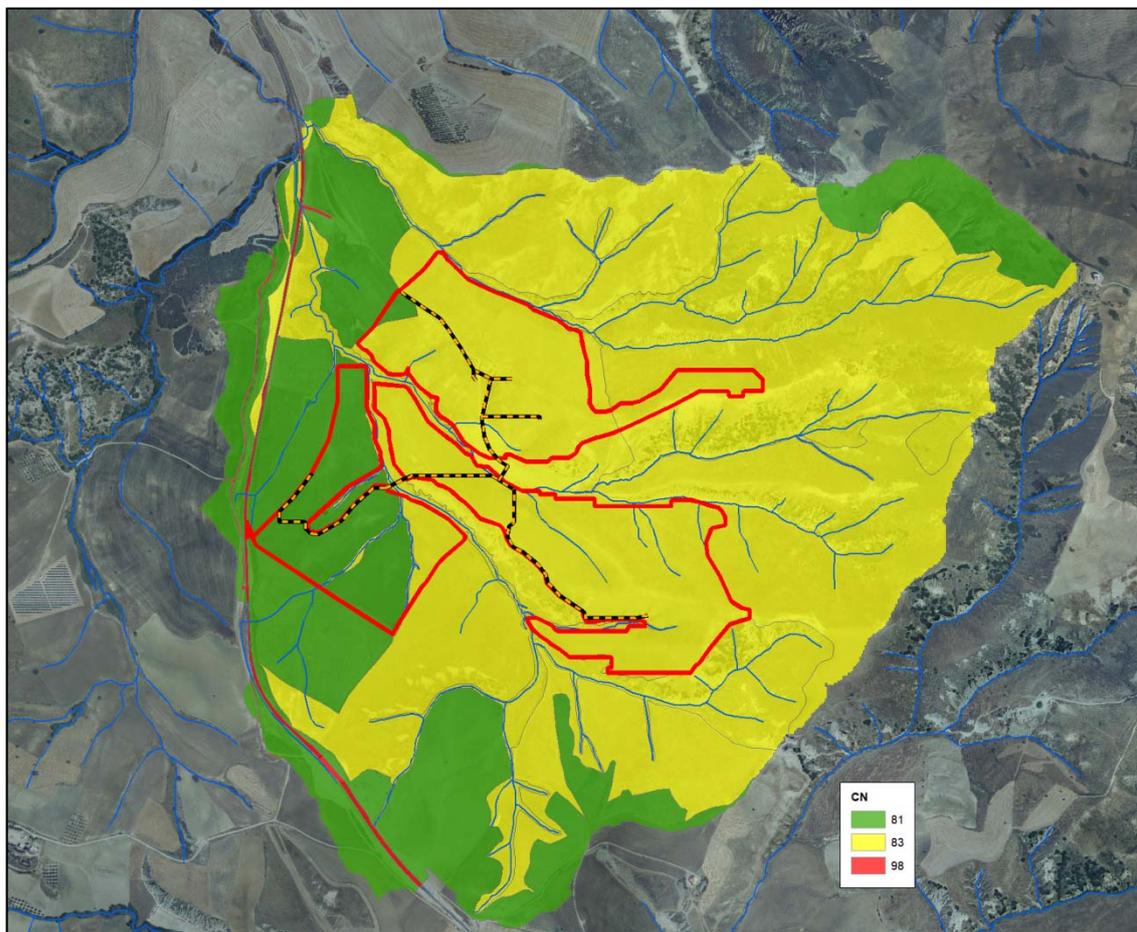


Fig. 10 - Mappatura delle aree con CN omogeneo

L'individuazione, delle aree omogenee per destinazione d'uso e condizione idrica è stata svolta in ambiente GIS, intersecando gli shapefile di uso del suolo e permeabilità dell'area oggetto di studio. Il Curve Number è un parametro adimensionale che oltre a dipendere dall'uso del suolo e dalla litologia affiorante, dipende anche dal grado di umidità del terreno, in funzione dell'altezza di pioggia caduta nei 5 giorni precedenti l'evento esaminato (Antecedent Moisture Condition): molto asciutto (<50 mm), standard (tra 50 e 110 mm) e molto umido (oltre 110 mm).

Nel caso in oggetto, i valori di CN così calcolati, rappresentativi del gruppo AMC II, sono stati corretti con il fattore della condizione umida attraverso la formula che segue:

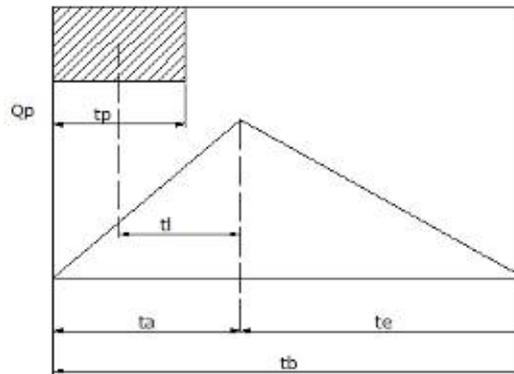
$$CN_{III} = (3.4212 - 1.1999 \log (CN_{II})) (CN_{II})$$

 RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

Il valore di CN adottato nel calcolo della portata, corrispondente alla classe AMC-tipo III (CNIII), è pari a 92,57 per il bacino oggetto di studio.

La portata al colmo di piena corrisponde alla **massima portata** generata da una precipitazione di durata critica tale da mettere in crisi la rete idrografica e dipende fortemente dall'estensione del bacino. Questa circostanza è una logica conseguenza del fenomeno di trasferimento che impone che ogni particella liquida che cade in un punto del bacino deve seguire un suo percorso per giungere alla sezione di chiusura, impiegando, a parità di velocità di trasferimento, un tempo tanto maggiore quanto più lungo è il percorso da effettuare.



Graf. 2 - Idrogramma di Mockus

Per il calcolo della portata al colmo Q_p [m^3/s] con il metodo SCS, si è considerato un idrogramma approssimato di forma triangolare (Mockus), che ha una fase crescente di durata t_a ed una fase di esaurimento di durata t_e e il cui volume, espresso in m^3 , ha la seguente espressione:

$$Vol = \frac{Q_p}{2}(t_a + t_e) = \frac{Q_p t_b}{2} \quad (*)$$

avendo indicato con t_b la durata dell'evento di piena.

Poiché è stato stabilito sperimentalmente che nella fase crescente dell'idrogramma di piena defluisce un volume idrico pari al 35.7% del volume totale V di deflusso, è possibile stabilire la relazione che lega t_a a t_b dalla seguente:

$$0.375 \frac{Q_p}{2}(t_b) = \frac{Q_p}{2}(t_a)$$

e cioè:

$$t_b = 2.67 t_a$$

 RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

Sostituendo quest'ultima nella espressione che lega il volume a t_b (*), esprimendo il volume di deflusso V (porzione di precipitazione netta che defluisce dalla sezione di controllo) in millimetri, l'area del bacino in chilometri quadrati e il tempo t_a in ore; si ottiene:

$$Q_p = 0.208 \frac{VA}{t_a} \text{ [m}^3 / \text{s]}$$

La determinazione di t_a , nell'ipotesi di precipitazione di intensità costante di durata t_p e indicando con t_L il tempo di ritardo (distanza tra il baricentro dello istogramma e il picco dell'idrogramma triangolare), si effettua con la semplice relazione:

$$t_a = 0,5t_p + t_L$$

Per la determinazione del tempo di ritardo, espresso in ore, si utilizza la **formula di Mockus**:

$$t_L = 0,342 \frac{L^{0,8}}{s^{0,5}} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7}$$

in cui s è la pendenza del bacino espressa in %, L è la lunghezza dell'asta principale prolungata fino alla dislivello espressa in km e CN è il "curve number" medio del bacino [11]

Poiché la precipitazione critica per il bacino è quella avente una durata pari al tempo di corrivazione (t_c), la durata dell'evento meteorico di riferimento t_p viene imposta pari a t_c :

$$t_p = t_c$$

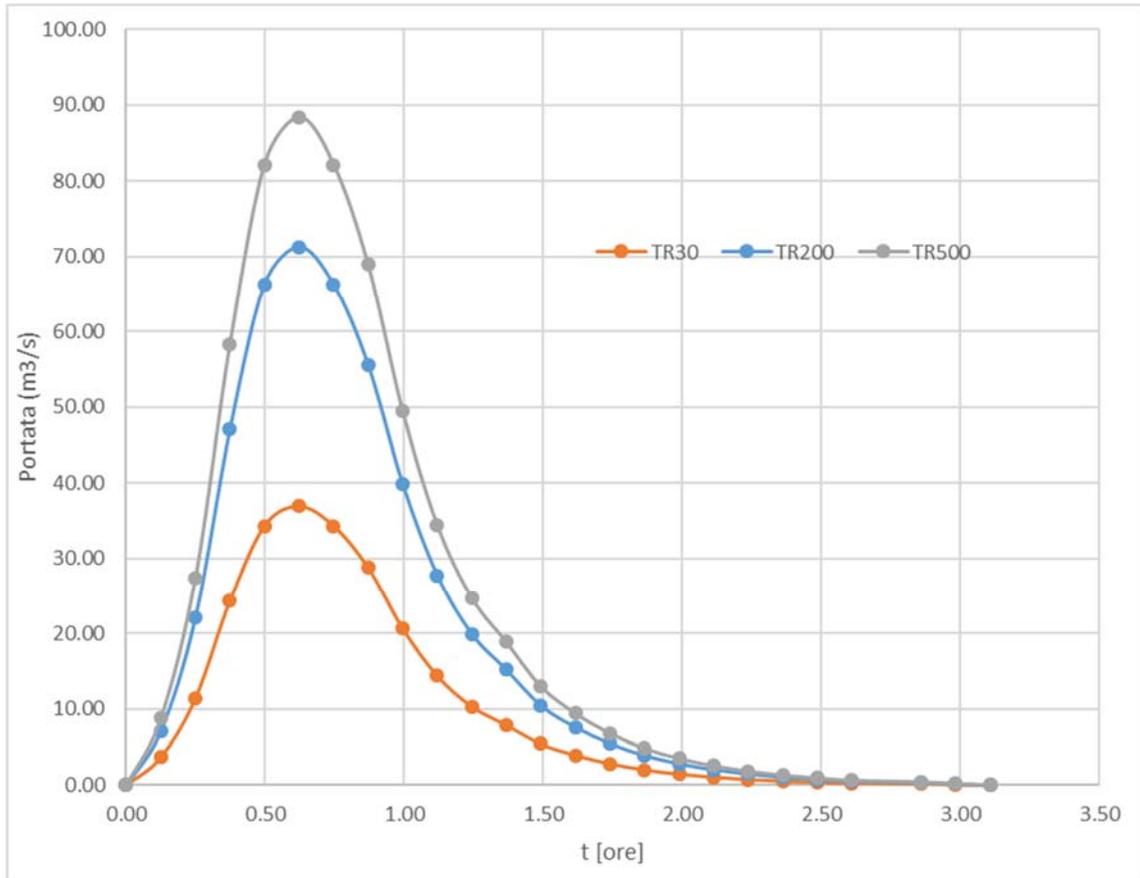
Il tempo di corrivazione è correlato al tempo di ritardo attraverso la seguente relazione:

$$\frac{t_L}{t_c} = 0,6$$

L'applicazione della procedura precedentemente esposta ai bacini individuati ha condotto alla determinazione delle portate al colmo per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni, di seguito riportati.

RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW



Graf. 3 - Idrogramma di Mockus TR200

TR = 30		TR = 200		TR = 500	
Q [m³/s]	V [mm³]	Q [m³/s]	V [mm³]	Q [m³/s]	V [mm³]
36.96	27.66	71.28	53.33	88.40	66.14

Tab.9 - Riepilogo portate e volumi di deflusso

5.2 Il modello di pioggia distribuito (ietogramma)

E' stata eseguita una simulazione a parametri distribuiti con eventi di pioggia di assegnato tempo di ritorno pari a 30, 200 e 500 anni e sono stati analizzati i risultati relativi alle aree interessate da fenomeni di allagamento.

RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

Dalla curva di Possibilità Climatica è stato possibile ricavare la quantità massima di pioggia prevista in base a prefissate durate dell'evento piovoso. In particolare è stato scelto l'evento di pioggia di durata pari al tempo di corrivazione del bacino di riferimento (0.56 h) per il tempo di ritorno pari a 30, 200 e 500 anni ed è stato costruito lo ietogramma rettangolare avente come superficie sottesa proprio il volume di pioggia in mm ricavato dalle curve di possibilità climatica.

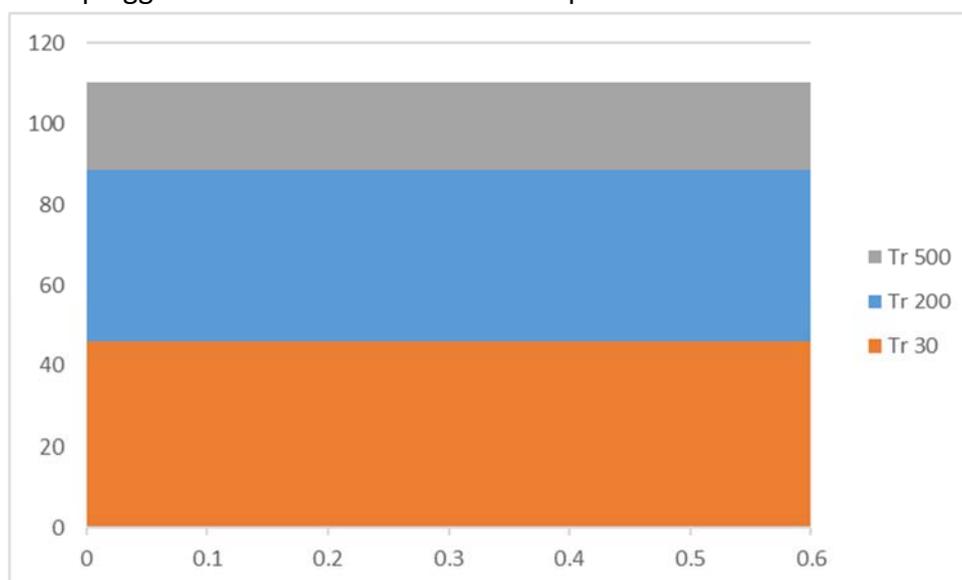


Grafico 4 - Ietogramma costante Tr 30, 200 e 500 anni

5.3 Simulazione idraulica bi-dimensionale

La simulazione idraulica è stata condotta utilizzando il software **InfoWorks ICM 4.0** specializzato nella modellazione **mono e bi-dimensionale** di sistemi idraulici complessi costituiti da reti idrauliche e corsi d'acqua naturali.

La peculiarità di questo software è quella di eseguire simulazioni integrate 1D-2D molto stabili sia per reti a "contorno chiuso" che per alvei naturali a cielo aperto, dando la possibilità di inserire manufatti ed elementi lineari o puntuali di diverso tipo.

Il modulo InfoWorks ICM fornisce un ambiente di calcolo a moto vario monodimensionale e bidimensionale che utilizza la metodologia dei volumi finiti. All'interno di un'unica interfaccia utente si possono rappresentare sezioni fluviali aperte con approccio monodimensionale, domini bidimensionali, reti di drenaggio chiuse e tutti i manufatti speciali presenti in ambito fluviale o fognario (ponti, soglie, sollevamenti, scaricatori di piena ecc).

 RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

Le aste fluviali possono essere rappresentate, secondo le preferenze dell'utente, o con un dominio interamente 2D (comprendente sia l'alveo inciso che le golene) che con modellazione mista (generalmente 1D per l'alveo inciso e 2D per le zone di espansione golenali).

Il moto idraulico all'interno degli elementi monodimensionali che lavorano a pelo libero (sia le tratte fluviali aperte o tubazioni) vengono risolte con l'integrazione delle equazioni di De Saint Venant (conservazione della massa e della quantità di moto).

La metodologia di calcolo in moto vario tiene conto anche dei volumi in gioco e quindi delle attenuazioni dell'onda di piena quando questa riempie dei volumi disponibili in alveo o in vere e proprie vasche di espansione opportunamente rappresentate nel modello (effetto di laminazione).

Il modello usato per la rappresentazione matematica del flusso 2D, è basato sull'equazione delle acque basse (Shallow Water Equation), relativa cioè all'altezza media che si ricava dalle equazioni di Navier – Stokes:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = q_{1D}$$

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(hu^2 + \frac{1}{2} gh^2 \right) + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = S_{0,x} - S_{f,x} + q_{1D} \cdot u_{1D}$$

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left(hv^2 + \frac{1}{2} gh^2 \right) = S_{0,y} - S_{f,y} + q_{1D} \cdot v_{1D}$$

Dove:

- ✓ h è l'altezza dell'acqua;
- ✓ u e v sono rispettivamente le velocità nelle direzioni x e y ;
- ✓ $S_{0,x}$ e $S_{0,y}$ sono rispettivamente le pendenze dell'alveo nelle direzioni x e y ;
- ✓ $S_{f,x}$ e $S_{f,y}$ sono rispettivamente gli attriti nelle direzioni x e y ;
- ✓ q_{1D} è la portata per unità di area;
- ✓ u_{1D} e v_{1D} sono rispettivamente le componenti di velocità della portata q_{1D} nelle direzioni x e y .

Questa formulazione conservativa dell'equazione delle acque basse è discretizzata utilizzando un sistema di primo ordine esplicito del volume finito. La tecnica di frazionamento del flusso assicura la proprietà del buon equilibrio bilanciando la pendenza con la pressione, termini a riposo. Per gestire la distinzione tra celle bagnate ed asciutte, viene utilizzata una soglia detta h_0 . Durante il calcolo, le celle a cui è associato un tirante idrico inferiore alla soglia sono considerate asciutte, dunque sia il tirante che la velocità vengono posti a zero. Il valore di default per questa profondità di soglia è 1mm.

RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

Questo algoritmo può essere utilizzato teoricamente sia con maglie strutturate (rettangolari) che non strutturate (triangolari) ed è adatto per rappresentare flussi rapidamente variabili, nonché correnti veloci e lente.

In InfoWorks si utilizzano le maglie non strutturate perché sono molto più flessibili e di facile utilizzo quando si vogliono rappresentare forme e ostacoli complessi presenti nel dominio.

All'interno del software sono presenti tutti gli strumenti necessari per costruire le magliature dei domini 2D da simulare.

Definita l'estensione "dominio di calcolo" (Zona 2D) all'interno di esso viene generata una "magliatura", cioè un insieme di maglie accoppiate, di forma triangolare, che costituiscono l'unità del calcolo bidimensionale. Le maglie vengono create attraverso un apposito comando in maniera automatica e tengono conto di tutti gli elementi che influenzano il moto bidimensionale all'interno del dominio. Per effettuare il processo di magliatura è stato utilizzato il DTM della Regione Basilicata nel suo formato originale (ASCII).

Una volta creato il dominio 2D, le impostazioni relative alle maglie vengono definite nella pagina di proprietà del poligono. Tra le principali variabili vi sono:

- **Massima Area Triangolo**(Maximum Triangle Area): questo valore molto importante definisce la dimensione massima che può assumere ogni singola maglia triangolare durante il processo automatico di magliatura, quindi più il valore è piccolo e più dettagliata sarà la griglia di calcolo. *La maglia utilizzata varia tra una superficie massima di **100 m²** e una minima di **10 m²**.*
- **Condizioni al contorno** (Boundary Type): questa proprietà definisce il comportamento che l'acqua deve assumere qualora arrivasse a lambire il confine del poligono durante la simulazione. Nel presente studio è stata utilizzata l'impostazione: "**Normal condition**" ovvero si assume che la pendenza del terreno bilanci le forze d'attrito (flusso normale o uniforme); l'altezza e la velocità vengono mantenute costanti quando l'acqua raggiunge il confine, in modo che l'acqua possa fluire al di fuori del poligono senza perdite di carico.
- **Scabrezza Manning** (Roughness): la scabrezza viene attribuita a tutti i triangoli creati durante il processo di magliatura. È possibile indicare localmente altri valori di scabrezza, il valore generale indicato in questo campo verrà utilizzato dove non specificato diversamente. *Nel caso in esame il coefficiente di scabrezza "n" è stato posto uguale a **0,033***

 RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

5.4 Dimensionamento e verifica dei tombini idraulici

Per il dimensionamento dei tombini idraulici che attraversamento la viabilità di progetto, la determinazione delle portate idrologiche è stata condotta in regime di moto vario considerando i dati di portata ottenuti dalla simulazione idraulica a parametri distribuiti per un tempo di ritorno pari a 200 anni attraverso il software InfoWorks ICM.

Nel software di calcolo InfoWorks in corrispondenza dell'intersezione della piena duecentennale con la viabilità di progetto sono stati inseriti degli oggetti 2d, le cosiddette "Result Line", che permettono di ricostruire l'idrogramma che attraversa una linea specifica nella zona 2D.

I risultati di output disponibili per una riga sono:

- Flusso (attraverso la linea di analisi dei risultati) - Il risultato della linea di analisi Flusso attraverso i risultati viene calcolato sommando i flussi in ogni segmento di linea;
- Profondità massima (lungo la linea di analisi dei risultati) - Il massimo dei valori di profondità degli elementi mesh 2D intersecati dalla linea di analisi dei risultati.
- Velocità massima (normale alla linea di analisi dei risultati) - Per ogni elemento mesh 2D che interseca la linea dei risultati 2D, il massimo dei valori calcolati viene riportato come velocità massima. Questo è un valore assoluto.

Nella tabella seguente si riportano i valori di picco delle portate che attraversano le Result Line individuati per Tr 200 anni, considerando una pioggia distribuita di durata pari al tempo di corrivazione del bacino.

ID Tombino	Q _{TR200} [m ³ /s]
01	32.60
02	0.40

Tab.10 – Valori di portata in corrispondenza delle Result Line

RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

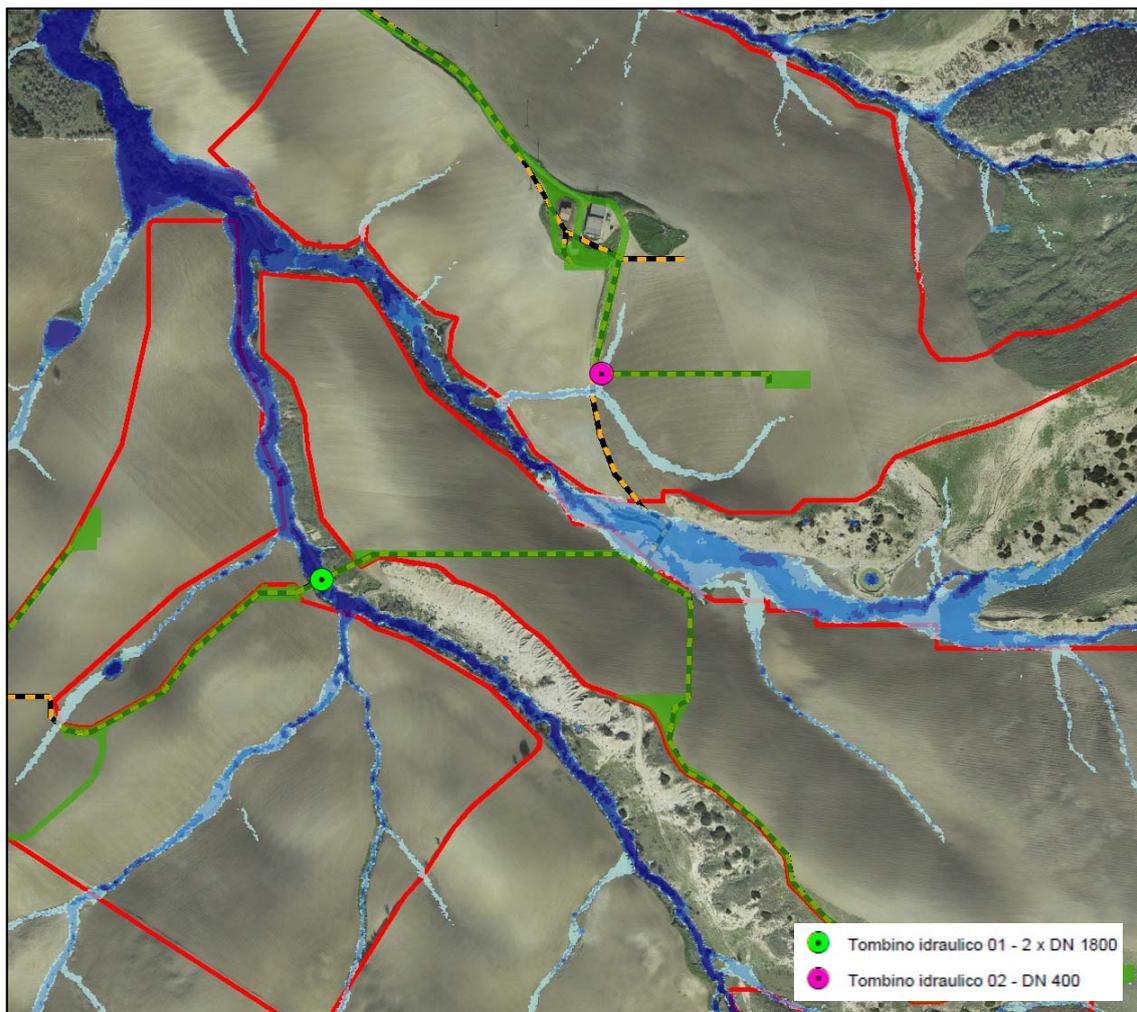


Fig.11 – Ubicazione tombini idraulici su ortofoto

Le equazioni comunemente utilizzate per calcolare la massima portata di deflusso per un assegnato tombino considerano il moto interno allo stesso del tipo uniforme.

L'equazione di verifica utilizzata è quella di Chezy, la quale esprime la portata Q come:

$$Q = AV$$

con V– valore della velocità media espressa come:

$$V = c\sqrt{R_i p}$$

in cui "c" – coefficiente di attrito - è espresso dalla seguente relazione

 RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

$$c = \frac{100\sqrt{Ri}}{m + \sqrt{Ri}}$$

Di seguito viene riportata una tabella riassuntiva sulla verifica della capacità massima di smaltimento per ciascun diametro impiegato, considerando una capacità di smaltimento pari all'80%.

Tombino	DN (mm)	Pendenza (%)	Portata idrologica (m ³ /s)	Portata massima smaltibile (m ³ /s)
01	2 x 1800	1.50	32.60	34.04
02	400	2.00	0.40	0.40

Tab.11 - Capacità massima di smaltimento per ciascun tombino

Di seguito le scale di deflusso dei tombini idraulici per ciascun diametro impiegato:

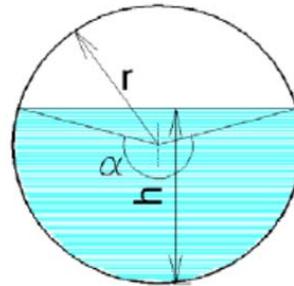
RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

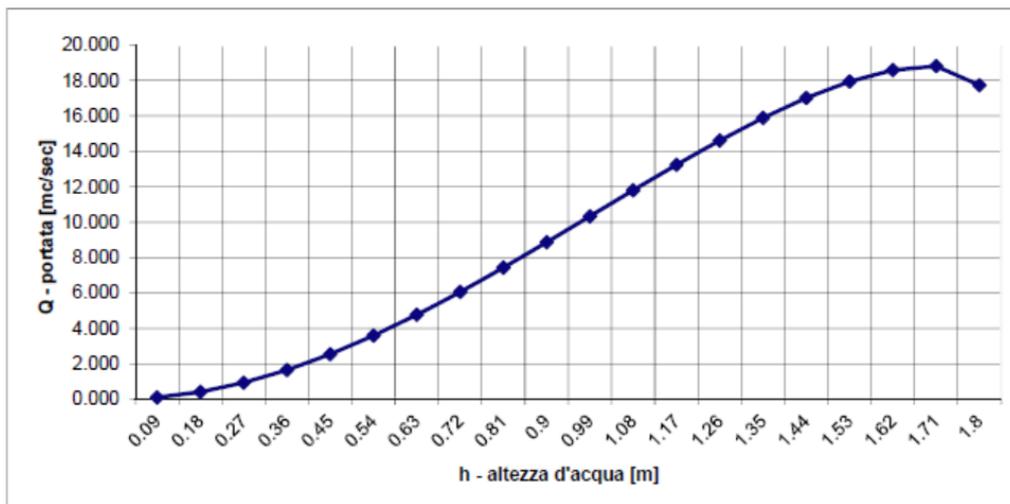
CARATTERISTICHE SEZIONE

d	1.80	DIAMETRO [m]
p	2%	Pendenza
m	0.12	Coeff. di scabrosità di Kutter

h [m]	Q[m ³ /sec]
0.09	0.094
0.18	0.405
0.27	0.927
0.36	1.644
0.45	2.537
0.54	3.586
0.63	4.768
0.72	6.058
0.81	7.433
0.90	8.867
0.99	10.332
1.08	11.800
1.17	13.238
1.26	14.614
1.35	15.889
1.44	17.018
1.53	17.946
1.62	18.593
1.71	18.816
1.80	17.734



h = altezza d'acqua
Q = portata all'altezza d'acqua corrispondente



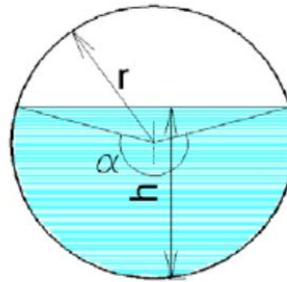
RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

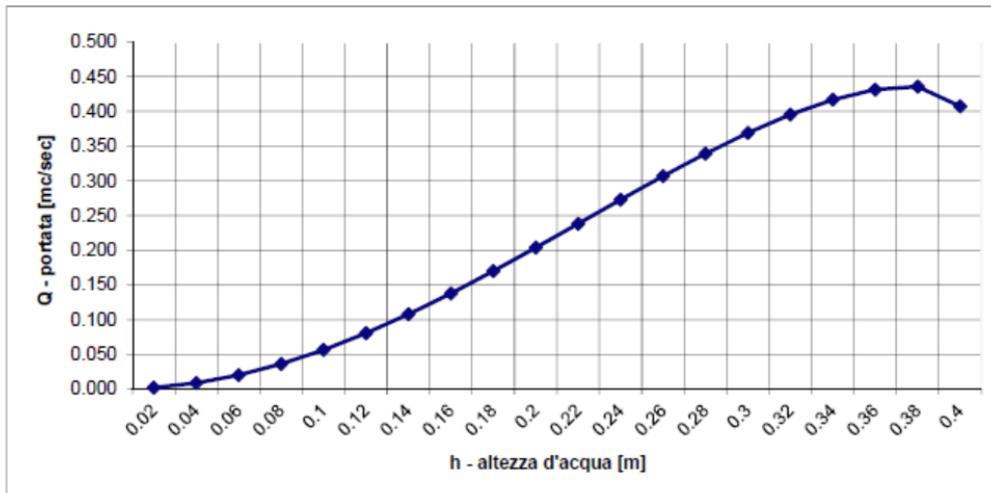
CARATTERISTICHE SEZIONE

d	0.40	DIAMETRO [m]
p	2%	Pendenza
m	0.12	Coeff. di scabrosità di Kutter

h [m]	Q[m ³ /sec]
0.02	0.002
0.04	0.008
0.06	0.020
0.08	0.036
0.10	0.056
0.12	0.080
0.14	0.108
0.16	0.138
0.18	0.170
0.20	0.204
0.22	0.238
0.24	0.273
0.26	0.307
0.28	0.339
0.30	0.369
0.32	0.396
0.34	0.417
0.36	0.432
0.38	0.436
0.40	0.407



h = altezza d'acqua
Q = portata all'altezza d'acqua corrispondente



RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

6 CONCLUSIONI

Le valutazioni di carattere idrologico, geomorfologico e idraulico, effettuate nel presente studio, sono state eseguite al fine di verificare la **compatibilità idrologica ed idraulica** degli interventiproposti nel progetto allegato, rapportando l'ubicazione degli stessi alle aree di tutela previste di cui all'art. 6 delle N.T.A. del P.A.I. dell'AdB Basilicata.

In prima battuta è stata condotta un'analisi morfometrica che, attraverso l'elaborazione del DTM disponibile sul Portale Cartografico della Regione Basilicata, ha consentito di determinare il bacino idrografico che interessa l'intervento.

Di seguito, attraverso un'analisi idrologica, uniformandosi al modello di *regionalizzazione utilizzato dall'AdB della Regione Basilicata*, sono stati **massimizzati gli eventi di piena** con il metodo SCS considerando una condizione di umidità del suolo corrispondente alla **Classe AMC III**(Terreno da mediamente umido a saturo)

E' pertanto implementato un modello di propagazione della piena a parametri distribuiti attraverso il software **InfoWorks ICM 4.0** specializzato nella modellazione **mono e bi-dimensionale** di sistemi idraulici complessi costituiti da reti idrauliche e corsi d'acqua naturali.

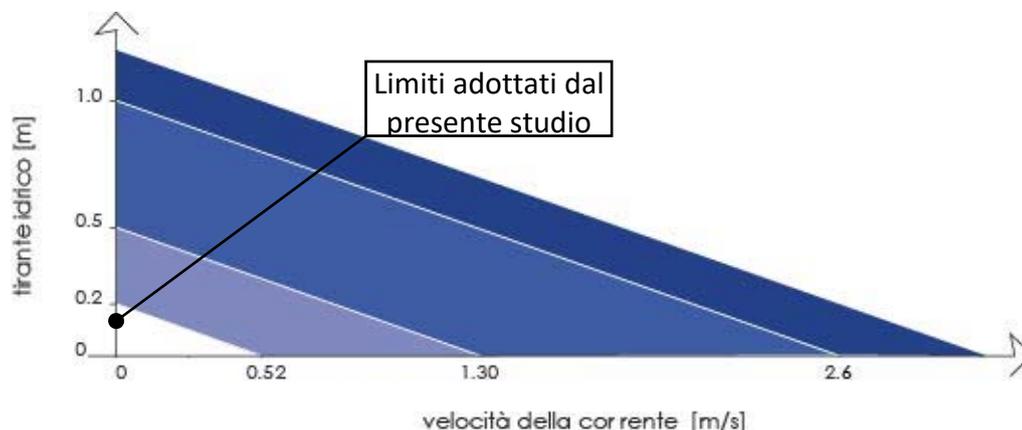
I risultati della simulazione sono stati epurati delle componenti residuali che non generano situazioni di pericolo. L'indicazione di allagamento di una superficie, infatti, non è di per sè un fattore di pericolosità; particolari condizioni di allagamento però possono mettere in condizioni di pericolo le persone presenti nelle aree in cui essi si verificano.

Oltre al tirante idrico, i fattori che influiscono sul livello di pericolosità sono la **velocità di scorrimento idrico** e la **persistenza del fenomeno**. Infatti un allagamento che presenta un tirante idrico di 0,1 metri ha caratteristiche ben diverse da quello derivante da 2 metri, anche se si dovesse verificare con lo stesso tempo di ritorno. Al contrario, se il primo dovesse possedere un'elevata velocità di scorrimento, potrebbe diventare più pericoloso del secondo caso qualora quest' ultimo fosse quasi statico.

I dati di allagamento sono stati sottoposti ad un filtro che ha eliminato tutte le maglie con combinazione Tirante e Velocità al di sotto della retta passante per **(0;0,20)** e **(0,52;0)**.

RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW



Graf.5 - Rappresentazione cartesiana delle soglie utilizzate per l'elaborazione dei dati in output

Dai risultati delle analisi di cui sopra si evince che il tracciato del cavidotto risulta interessato dall'**impronta della piena duecentennale** in alcuni tratti. In corrispondenza di tali tratti saranno previste, in fase di progettazione esecutiva, opportune accortezze costruttive atte a proteggere lo stesso cavidotto da possibili danneggiamenti dovuti ad eventi di piena e/o conseguenti azioni erosive esercitate dalla corrente idrica, ad es. mediante l'installazione di bauletti rigidi di protezione o opere similari, oppure tecnologia TOC con punti di inizio e fine perforazione al di fuori delle aree di allagamento.

RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

7 BIBLIOGRAFIA

- [1] EVANS E.P. ,VON LANY P.H. (1983), "*A mathematical model of overbank spilling and urban flooding*" in "*Hydraulic Aspects of Floods and Flood Control*", London, UK
- [2] FIORENTINO, M.; GABRIELE, S.; ROSSI, F.; VERSACE, P. (1987), "*Hierarchical approach for regional flood frequency analysis*" in V. P. Singh (eds) "*Regional flood frequency analysis*", 35-49, D. Reidel, Norwell, Mass.
- [3] TESORIERE G. (1994), "*Strade Ferrovie Aeroporti*", Vol. I, *Il progetto e le opere d'arte*; UTET, Torino.
- [4] GABRIELE S., IIRITANO G. (1994), "*Analisi regionale delle piogge in Basilicata*", rapporto interno n.414, CNR-IRPI, Rende (CS).
- [5] IPPOLITO G. (1995), "*Appunti di costruzioni idrauliche*", Liguori editore, Napoli;
- [6] AA.VV. (1996), "*Using ArcView GIS*", Environmental Systems Research Institute Inc., 380 New York Street, Redlands, California.
- [7] DA DEPPO L., DATEI C. (1999), "*Le opere idrauliche nelle costruzioni stradali*", Ed. BIOS, Cosenza.
- [8] AA.VV. (2002), "*Atlante delle opere di sistemazione dei versanti*", Ed. APAT - Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici, Roma.
- [9] AA.VV. (2003), "*Atlante delle opere di sistemazione fluviale*", Ed. APAT - Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici, Roma.
- [10] CAIVANO A. M. (2003), "*Rischio Idraulico e Idrogeologico*", III Edizione, Ed. EPC Libri, Roma.
- [11] FERRO V. (2006), "*La sistemazione dei bacini idrografici*", Seconda Edizione, McGraw-Hill, Milano.
- [12] AA.VV. (2007), "*Linee guida per la stabilizzazione delle frane e strategie di mitigazione del rischio*", Autorità di Bacino del Fiume Arno, Firenze.
- [13] CETRARO F. (2007), "*Ingegneria Geotecnica e Geologia Applicata*", II Edizione, Ed. EPC Libri, Roma;
- [14] AA.VV. (2009), "*Two-Dimensional Flood Routing Model - Workshop Lessons*", FLO-2D Software Inc., Nutrioso, Arizona.
- [15] MURACHELLI A., RIBONI V. (2010), "*Rischio idraulico e difesa del territorio*", Ed. Dario Flaccovio Editore, Palermo.

RELAZIONE IDRAULICA

Costruzione ed esercizio di un impianto agrivoltaico denominato "Salandra", sito nel comune di Salandra (MT) in Contrada Bradanelli snc, e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili per la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, potenza nominale pari a 70.000,00 kW e potenza moduli pari a 70.257,60 kW

- [16] AGOSTINACCIO M., CIAMPA D., OLITA S. (2011), *"La progettazione delle strade"*, II Edizione, Ed. EPC Libri, Roma;
- [17] Dell'Aera, M., (1991), *"Analisi della variabilità spaziale degli L-moments. Un'applicazione alla Calabria"*, Rapp. Int. n. 335, IRPI-CNR, Cosenza;
- [18] Gabriele, S. e G. Iiritano, (1994) *"Alcuni aspetti teorici ed applicativi nella regionalizzazione delle piogge con il modello TCEV"*, in F. Rossi (a cura di), *"Previsione e Prevenzione degli Eventi Idrologici Estremi e Loro Controllo"*, Rapporto 1992/93, L1, GNDCI-CNR, Roma.
- [19] AA.VV. (2001), *"Linea 1. Rapporto di sintesi sulla valutazione delle piene in Italia"*, 9.1-9.17 (Basilicata), GNDCI-CNR, Roma.

Grottaglie, novembre 2022

