

**AUTOSTRADA A2 "MEDITERRANEA"
COLLEGAMENTO PORTO GIOIA TAURO GATE SUD CON
AUTOSTRADA A2 - LOTTO 1 E LOTTO 2**

DG 54/17 LOTTO 1

COD. UC165

PROGETTO DEFINITIVO

COD. UC167

GRUPPO DI PROGETTAZIONE: R.T.I.: INTEGRA CONSORZIO STABILE (capogruppo mandataria)
Prometeoengineering.it S.r.l. - Dott. Geol. Andrea Rondinara

RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:
Prof. Ing. Franco BRAGA (Integra Consorzio Stabile)

CAPOGRUPPO MANDATARIA:



Direttore Tecnico:
Prof. Ing. Franco Braga

GEOLOGO:
Dott. Geol. A. CANESSA (Prometeoengineering.it S.r.l.)

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:
Dott. Ing. Alessandro Orsini (Integra Consorzio Stabile)

MANDANTI:



Direttore Tecnico:
Dott. Ing. Alessandro FOCARACCI

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:
Dott. Ing. Giuseppe Danilo Malgeri

Dott. Geol. Andrea Rondinara

**STUDI GENERALI
IDROLOGIA
Relazione idrologica**

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO DPUC0165		T00ID00IDRRE01C.dwg			
LIV. PROG. N. PROG. DPUC0167 D 21		CODICE ELAB. T00ID00IDRRE01		C	
C	Revisione a seguito richieste integrazioni MASE	Aprile 2023	Perilli	Pacitti	Braga
B	Rimissione a seguito istruttoria ANAS	Novembre 2022	Perilli	Pacitti	Braga
A	Emissione	Settembre 2022	Perilli	Pacitti	Braga
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

AUTOSTRADA A2 "MEDITERRANEA"
COLLEGAMENTO PORTO GIOIA TAURO SUD CON AUTOSTRADA A2
1° Lotto, dal Km 0+000 al Km 0+900
2° Lotto, dal Km 0+900 al Km 2+297

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Idrologica

1	INQUADRAMENTO IDROGRAFICO.....	3
2	PIANIFICAZIONE DI ASSETTO IDROGEOLOGICO	5
	2.1 PAI ex Autorita' di Bacino Regione Calabria	5
	2.2 PGRA Ex Autorita' di Bacino Regione Calabria.....	7
	2.3 Misure di Salvaguardia.....	9
	2.4 Inquadramento planimetrico degli interventi	10
3	IDROLOGIA	13
	3.1 Generalità	13
	3.2 Analisi statistica dei dati pluviometrici	15
	3.3 Definizione delle altezze di pioggia per eventi di durata inferiore all'ora	21
4	DESCRIZIONE DEL BACINO INTERFERITO – CANALE IV.....	27
5	STIMA DELLE PORTATE DI PROGETTO.....	29
	5.1 Metodo razionale	29
	5.1.1 Tempo di corrivazione	29
	5.1.2 Calcolo pioggia netta - Metodo del Curve number	30
	5.2 Metodo CN-SCS dizione di Mockus	37
6	PORTATA DI PROGETTO	39
	Figura 1 – Ubicazione asse di progetto rispetti ai bacini del fiume Mesina e Fiumara Budello	3
	Figura 2 – Interferenza tracciato con il Canale IV	4
	Figura 3 – Inserimento territorio ex A.d.B della Regione Calabria all'interno del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale.....	5
	Figura 4 – Inquadramento dell'intervento in progetto su tematismo PGRA_ Aree Pericolosità idraulica	11
	Figura 5 – Inquadramento dell'intervento in progetto su tematismo PGRA_ Aree di Rischio Idraulica	11
	Figura 6 – Posizione Stazione pluviometriche rispetto all'area progettuale.....	14
	Figura 7 – Funzioni distribuzione di probabilità	19
	Figura 8 – Carta Probabilistica: confronto tra variabile ridotta di Gumbel e variabile campionaria.....	20
	Figura 9 - Relazione altezza-frequenza per 1,5, 10 anni.....	23
	Figura 10 - Relazione altezza-frequenza per 2,25, 100 anni.....	24
	Figura 11 – Interferenza tracciato con il Canale IV	27
	Figura 12 – Curve di conversione dei valori di CN per le diverse condizioni di umidità del suolo antecedenti l'evento.....	34
	Figura 12 – Idrogramma triangolare utilizzato per il calcolo delle portate al colmo con il metodo SCS.....	37
	<i>Tabella 1 - Caratteristiche stazione pluviometrografica di Rosarno</i>	<i>15</i>
	<i>Tabella 2 - Stazione pluviometrica di Rosarno - Altezze di pioggia (mm) per durate superiori all'ora</i>	<i>17</i>
	<i>Tabella 3 - Valori del parametro Δ_{max} per le distribuzioni teoriche Normale, Lognormale, Gumbel e Frechet.....</i>	<i>19</i>
	<i>Tabella 4 – Parametro distribuzione di Gumbel</i>	<i>21</i>
	<i>Tabella 5 – Coefficienti a e n per piogge super orarie al variare di Tr</i>	<i>21</i>
	<i>Tabella 6 – Rapporti tra massimi annuali altezze di pioggia di diversa durata e la corrispondente altezza oraria negli USA e Australia</i>	<i>22</i>
	<i>Tabella 7 – Intervalli di variazione rapporti massimi annuali altezze di pioggia di diversa durata e la corrispondente altezza oraria negli USA e nella ex URSS.....</i>	<i>22</i>
	<i>Tabella 8 – Coefficienti a e n' per piogge suborarie al variare di Tr</i>	<i>26</i>
	<i>Tabella 9 – tabella tipologico suolo</i>	<i>32</i>
	<i>Tabella 10 - Tipo idrologico suolo SCS - CN.....</i>	<i>32</i>
	<i>Tabella 11 - Valori del "Curve Number" CN per i diversi tipi di suolo in funzione dell'uso del suolo per condizioni di umidità iniziale (antecedent moisture conditions – AMC) medie (classe II).....</i>	<i>33</i>
	<i>Tabella 12 - Definizione della classe di umidità in base al parametro API5</i>	<i>34</i>
	<i>Tabella 13 – Conversione CLC a CN</i>	<i>36</i>

1 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

L'area interessata dall'infrastruttura stradale in progetto si colloca nella parte occidentale della Regione Calabria nel territorio del Comune di Gioia Tauro.

L'idrografia della zona è caratterizzata esclusivamente dal Fiume Budello al margine meridionale della zona portuale e dal Fiume Mesina presente più a nord dopo il comune di S. Ferdinando, l'assetto morfologico pianeggiante e litologico non consente l'impostazione di aste di drenaggio, specie per l'alta permeabilità dei terreni. Questi sono sede di importanti falde freatiche organizzate, con ogni probabilità, in sacche sovrapposte e intercomunicanti.

L'intervento di progetto (vedi figura 1) si colloca in un'area compresa tra i bacini della Fiumara Budello, il Fiume Mesina e il porto di Gioia Tauro.

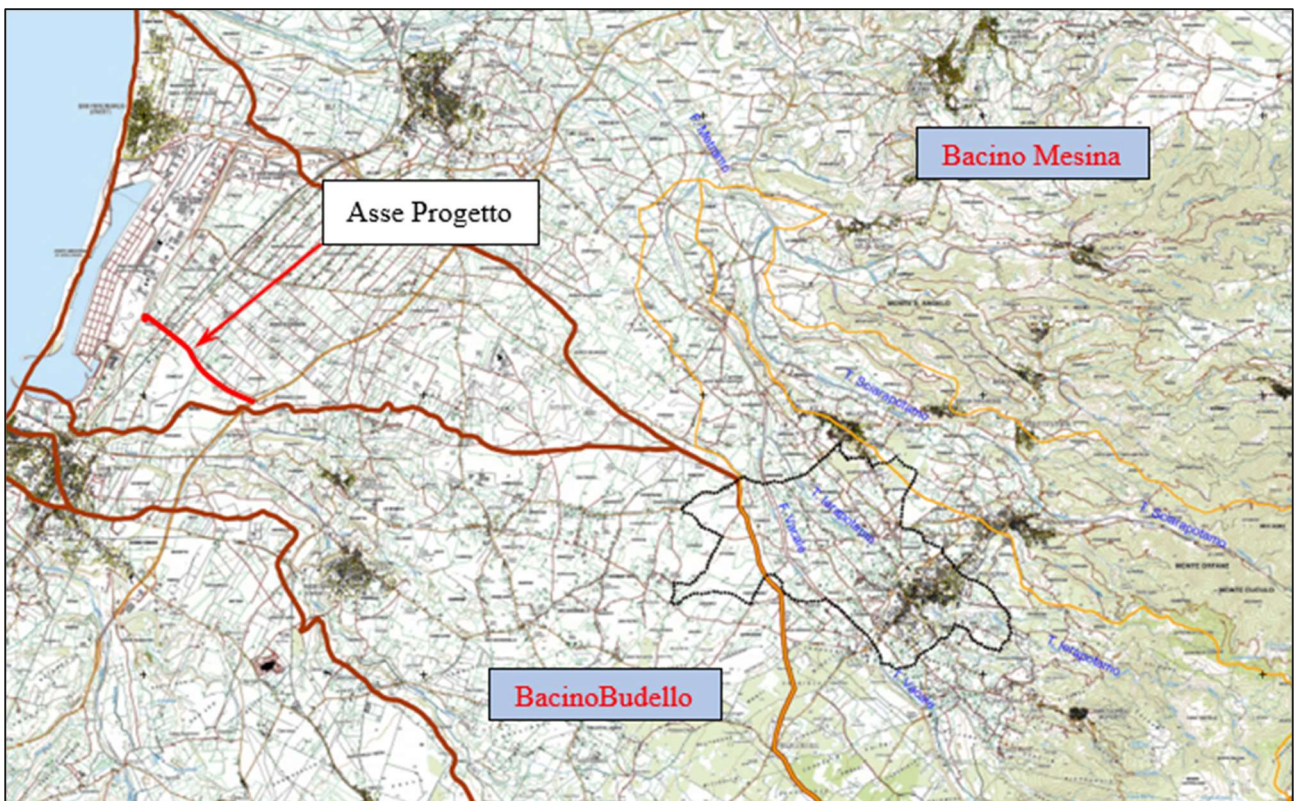


Figura 1 – Ubicazione asse di progetto rispetto ai bacini del fiume Mesina e Fiumara Budello

Il fiume Mesina è uno dei fiumi maggiori della Calabria centro-meridionale con un bacino di estensione 815 km², una lunghezza di 55 km ed una portata variabile tra i 500-1600 m³. Le sue sorgenti sono situate sulle Serre calabresi alle pendici del monte Mazzucolo (m 942), tra i comuni di Vallelonga e Simbario, in provincia di Vibo Valentia. Dopo un percorso di circa trenta km il fiume raggiunge e la Piana di Gioia Tauro, e quindi la provincia di Reggio Calabria, dove in breve, nei pressi di Rosarno e al confine con il territorio di San Ferdinando, sfocia nelle acque del Tirreno a nord di San Ferdinando. I principali affluenti sono: in sinistra il

fiume Marepotamo, il fiume Metramo e il fiume Vena; in destra il fosso Cinnarello e il torrente Mammella. Come tutte le fiumare, è ricco d'acqua (spesso anche in piena) d'inverno, e quasi a secco durante il periodo estivo.

La Fiumara Budello nasce con tre rami minori non lontano da Rizziconi e sfocia nel mar Tirreno presso l'abitato di Gioia Tauro; caratterizzata da un regime idraulico di tipo torrentizio, presenta un bacino di forma ovale allungata con sviluppo Sud-Est Ovest di circa 84 km² con lunghezza d'asta di 12.450 km, una quota media di 116.43 m ed una pendenza media del 4.95 %.

La zona interessata dall'asse di progetto non presenta alcuna interferenza idraulica naturale, fiume, torrente o fosso che sia sede preferenziale di scorrimento d'acqua in caso di evento meteorico ad eccezione del canale artificiale all'altezza del km 0+040 dell'asse principale del progetto.

La nuova viabilità interseca il tratto iniziale del collettore denominato Canale IV che si sviluppa parallelamente alla strada vicinale Colonomo per poi piegare a sinistra dopo l'area portuale e raggiungere il mare.

Si riporta di seguito una stralcio planimetrico da ortofoto ove si evidenzia il bacino sotteso dalla sezione di chiusura in corrispondenza dell'asse del tracciato di progetto.



Figura 2 – Interferenza tracciato con il Canale IV

2 PIANIFICAZIONE DI ASSETTO IDROGEOLOGICO

Il tracciato di progetto della nuova viabilità si sviluppa nel comune di Gioia Tauro che ricadono nel territorio di competenza del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale. Essa è subentrata come organo competente in data 17 febbraio 2017, con l'entrata in vigore del D.M. 294 del 25 ottobre 2016 che sopprime le Autorità di bacino nazionali, interregionali e regionali, nello specifico inglobando dell'Autorità di Bacino della Regione Calabria.

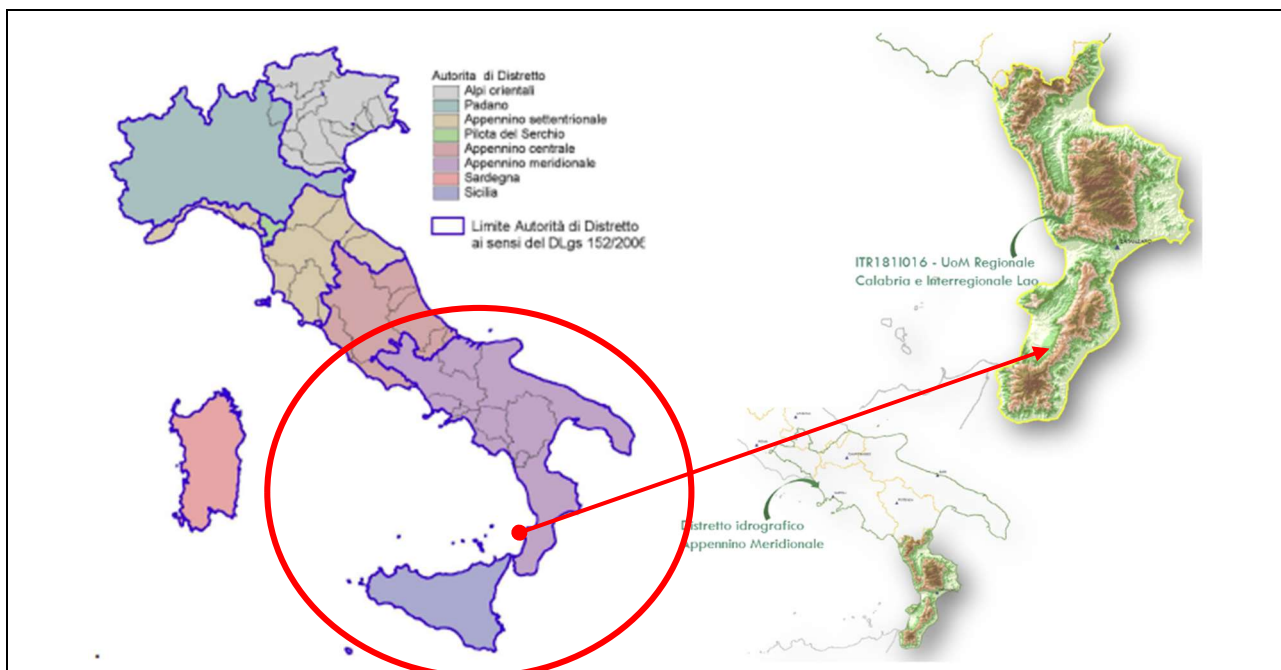


Figura 3 – Inserimento territorio ex A.d.B della Regione Calabria all'interno del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale

Gli approfondimenti necessari allo studio idrologico e idraulico e alla valutazione delle condizioni di rischio conseguenti la realizzazione dell'opera in esame, sono stati eseguiti facendo riferimento alle seguenti norme:

- Piano di Assetto Idrogeologico dell'ex Autorità di Bacino Regione Calabria (P.A.I. aggiornato a novembre 2021) e relative norme di attuazione;
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni dell'ex Autorità di Bacino Regione Calabria (piano adottato con CIP Del n.2 del 20/12/2021);
- Misure di Salvaguardia adottate con Decreto del Segretario Generale n. 450 in data 13 ottobre 2020.

2.1 PAI ex Autorita' di Bacino Regione Calabria

Il Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale di fatto ai sensi di legge ha acquisito le funzioni dell'Autorità di Bacino della Regione Calabria dalla quale ha ripreso le disposizioni del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) approvato e redatto ai sensi e per gli effetti della legge n. 183/1989 e del decreto-legge n.

180/1998, con le relative fonti normative di conversione, modifica e integrazione. Il PAI si configura in particolare come stralcio funzionale del Piano di bacino ai sensi dell'art. 17 della legge quadro.

Il Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI) ha valore di piano territoriale di settore e rappresenta lo strumento conoscitivo, normativo e di pianificazione mediante il quale si pianificano e programmano le azioni e le norme d'uso finalizzate alla salvaguardia delle popolazioni, degli insediamenti, delle infrastrutture e del suolo.

Il PAI recepisce:

- i contenuti del Piano stralcio relativo alla riduzione del rischio idraulico approvato con DPCM 5 novembre 1999, in particolare per quanto attiene al quadro conoscitivo generale, all'analisi delle criticità e alla pianificazione e programmazione degli interventi di mitigazione del rischio
- i contenuti dei Piani straordinari per la rimozione delle situazioni a rischio idrogeologico più alto, redatto ai sensi del DL n. 132/99, convertito nella legge n. 226/99, approvati con delibere del Comitato Istituzionale n. 134 e 137.

Il PAI persegue l'obiettivo di garantire al territorio di competenza dell'ente preposto adeguati livelli di sicurezza rispetto all'assetto geomorfologico, relativo alla dinamica dei versanti e al pericolo di frana, all'assetto idraulico, relativo alla dinamica dei corsi d'acqua e al pericolo d'inondazione, e all'assetto della costa, relativo alla dinamica della linea di riva e al pericolo di erosione costiera.

Le finalità del PAI sono perseguite mediante:

- l'adeguamento degli strumenti urbanistici e territoriali;
- la definizione del rischio idrogeologico e di erosione costiera in relazione ai fenomeni di dissesto considerati;
- la costituzione di vincoli e prescrizioni, di incentivi e di destinazioni d'uso del suolo in relazione al diverso livello di rischio;
- l'individuazione di interventi finalizzati al recupero naturalistico e ambientale, nonché alla tutela e al recupero dei valori monumentali e ambientali presenti e/o alla riqualificazione delle aree degradate;
- l'individuazione di interventi su infrastrutture e manufatti di ogni tipo, anche edilizi, che determinino rischi idrogeologici, anche con finalità di rilocalizzazione;
- la sistemazione dei versanti e delle aree instabili a protezione degli abitati e delle infrastrutture adottando modalità di intervento che privilegino la conservazione e il recupero delle caratteristiche naturali del terreno;
- la moderazione delle piene, la difesa e la regolazione dei corsi d'acqua;
- la definizione dei programmi di manutenzione;

- l'approntamento di adeguati sistemi di monitoraggio; - la definizione degli interventi atti a favorire il riequilibrio tra ambiti montani e costieri con particolare riferimento al trasporto solido e alla stabilizzazione della linea di riva.

Per ciascuna categoria di rischio in conformità al DPCM 29 settembre 1998, sono definiti quattro livelli:

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

2.2 PGRA Ex Autorita' di Bacino Regione Calabria

L'Autorità di Bacino Distrettuale dell'appennino Meridionale prevede l'adozione delle disposizioni del Piano di gestione del rischio di alluvioni (di seguito denominato PGRA) della AdB nazionale dei Fiumi Liri-Garigliano e Volturno, AdB interregionale Trigno, Biferno e minori, Saccione e Fortore, AdB regionale Puglia, AdB regionale Basilicata, AdB regionale Calabria, AdB regionale Campania centrale e AdB regionale Campania Sud redatte ai sensi della direttiva 2007/60/CE e del decreto legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 finalizzato alla gestione del rischio di alluvioni nel territorio delle Unit Of Management (U.O.M.) Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) è un Piano introdotto dalla Direttiva Comunitaria 2007/60 (cd.'Direttiva Alluvioni') con la finalità di costruire un quadro omogeneo a livello distrettuale per la valutazione e la gestione dei rischi da fenomeni alluvionali, al fine di ridurre le conseguenze negative nei confronti della vita e salute umana, dell'ambiente, del patrimonio culturale, delle attività economiche e delle infrastrutture strategiche.

Il PGRA, recepisce i contenuti dei Piani di Assetto Idrogeologico (PAI), dei loro aggiornamenti ed ha valore di piano sovraordinato rispetto alla pianificazione territoriale e urbanistica. Il PGRA agisce in sinergia con i PAI vigenti. Il processo di pianificazione a ciclo sessennale è suddiviso in fasi successive e tra loro strettamente concatenate, in particolare il primo ciclo di attuazione si è concluso nel 2016 quando sono stati definitivamente approvati i PGRA per tutti i distretti idrografici. Il secondo ciclo è in corso di completamento con le attività che porteranno, nel dicembre 2021, all'approvazione del PGRA Il ciclo, articolato, come da normativa, nelle seguenti fasi di cui alcune già svolte:

- fase 1: valutazione preliminare del rischio di alluvioni (conclusa nel dicembre 2018);
- fase 2: l'riesame delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvione (conclusa nel dicembre 2019);

- fase 3: realizzazione del Progetto di Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (da adottato nel dicembre 2020) attualmente in fase di consultazione;
- fase 4: realizzazione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni – Il ciclo (da concludersi entro il 22 dicembre 2021), alla conclusione della fase di consultazione e partecipazione.

La Conferenza Istituzionale Permanente (CIP) dell’Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Meridionale - nella seduta del 20/12/2019, con Delibera n. 1 - ha, preso atto del primo riesame delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (mappe Il ciclo) delegando il Segretario Generale a provvedere tempestivamente all’aggiornamento dei vigenti PAI – Rischio Idraulico, al fine di allineare le perimetrazioni degli stessi alle nuove aree individuate dalle mappe Il ciclo e non presenti nei medesimi PAI (cd. aree bianche) o comunque con differente perimetrazione.

Al fine di recepire il disposto della suindicata delibera CIP, il Segretario Generale, con DS n.210 del 09/04/2020 ha provveduto a dare avvio alle procedure di aggiornamento per tutti i PAI vigenti. Nell’ambito di una prima valutazione dei contenuti di tali procedure di aggiornamento sono emerse alcune criticità, che non consentono sempre l’integrazione nei PAI stessi delle “nuove” mappe del PGRA (Il ciclo) senza opportuni approfondimenti di studio.

In particolare, per il territorio calabrese, il Comitato Istituzionale dell’ex Autorità di Bacino (come avvenuto, per il piano frane) nella seduta del 11 aprile 2016, ha adottato un progetto di aggiornamento del vigente PAI (PAI 2001) contenente una significativa ripermetrazione delle aree a rischio da alluvioni (praticamente estesa a tutto il reticolo idrografico). Tale nuova ripermetrazione, che non modificava la vigenza del PAI 2001, è stata soggetta a pubblicazione sul sito dell’Autorità ed inviata ai comuni per eventuali osservazioni, al fine di giungere ad una definizione condivisa con gli Enti Locali delle mappe di pericolosità, da adottare come progetto di variante al PAI vigente. Tuttavia, tale percorso, in seguito alle intervenute nuove norme in materia di riorganizzazione delle Autorità, risulta, allo stato, non perfezionato. Pertanto, è stato ritenuto necessario inserire tali aree nelle mappe Il ciclo del PRGA (in quanto oggetto di una determinazione istituzionale) onde evitare problemi di ordine amministrativo e, al contempo, adottare, in via precauzionale un provvedimento finalizzato all’incolumità della popolazione e dei beni, anche per non incorrere in eventuali reati di natura penale. Contestualmente alla presa d’atto del I riesame delle Mappe di pericolosità e rischio di alluvioni, la CIP, con delibera n.2 ha applicato anche su tali aree, non presenti nel PAI vigente, delle misure di salvaguardia fino all’aggiornamento del PAI e comunque per un massimo di 90 gg dalla pubblicazione delle mappe su G.U (fino al 14/07/2020). Al fine della ripermetrazione dei vari livelli di rischio del territorio calabro, l’Autorità d’intesa con la Regione, ha avviato il percorso di aggiornamento del PAI e di rivisitazione dello stesso e che confluirà nel PGRA. Il tutto è stato impostato e verrà realizzato nell’ottica della gestione del rischio teso a considerare, valutare e consentire un equilibrio tra la disponibilità del sistema territoriale e gli usi dello stesso.

2.3 Misure di Salvaguardia

Le Misure di Salvaguardia (MdS) disciplinano la fase transitoria del procedimento di aggiornamento degli strumenti di pianificazione relativi all'assetto idrogeologico (PAI e PGRA). In particolare la delibera CIP n. 2/2019 (cfr. art. 1) ha disciplinato la fase transitoria tra la presa d'atto delle nuove mappe PGRA e la formale adozione dell'aggiornamento ai PAI, introducendo Misure di salvaguardia, sulle sole aree non soggette ad alcuna specifica regolamentazione. Le MdS sono state adottate con DS n. 540 del 13_10_2020 (G.U. n. 270 del 29 ottobre 2020).

Nel caso specifico di studio, relativo alla Unit of Management (UoM - ambiti territoriali di interesse coincidenti generalmente con i bacini idrografici) *UoM Lao / Regione Calabria*, tali misure hanno riguardato le aree di attenzione.

Si riporta di seguito uno stralcio planimetrico su ortofoto della zona interessata dall'intervento stradale di progetto evidenziato in giallo ove si riportano le aree di attenzione del PGRA e le aree di rischio idraulico. L'intervento infrastrutturale in progetto risulta essere completamente esterno ed estraneo alle aree menzionate.



Figura 3– Inquadramento dell'intervento in progetto su tematismo Aree di Attenzione_ Aree Pericolosità idraulica

2.4 Inquadramento planimetrico degli interventi

Nelle immagini seguenti sono riportate le aree interessate da esondazione associate al Reticolo Idrografico in relazione a scenari caratterizzati da:

- P1 (pericolosità bassa) aree allagabili con tempo di ritorno di 500 anni;
- P2 (pericolosità media) aree allagabili con tempo di ritorno di 200 anni;
- P3 (pericolosità elevata) aree allagabili con tempo di ritorno di 50 anni;

Sulla base della pericolosità idraulica e la classe di danno associata all'area soggetta ad esondazione è possibile individuare anche la classe di rischio del territorio con scenari caratterizzati da:

- R1 (Rischio moderato) per il quale i danni sociali, economici ed al patrimonio ambientale sono trascurabili o nulli;
- R2 (Rischio medio) per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività socio-economiche;
- R3 (Rischio elevato) per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni relativi al patrimonio ambientale;
- R4 (Rischio molto elevato) per il quale sono possibili perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche.

Di seguito si riporta la matrice per l'individuazione delle classi di Rischio:

CLASSI DI RISCHIO		CLASSI DI PERICOLOSITA'		
		P3	P2	P1
CLASSI DI DANNO	D4	R4	R4	R2
	D3	R4	R3	R2
	D2	R3	R2	R1
	D1	R2	R1	R1

Si riportano di seguito 2 stralci planimetrici su ortofoto della zona interessata dall'intervento stradale di progetto evidenziato in bianco ove si riportano le aree di pericolosità idraulica e di rischio idraulico.



Figura 4 – Inquadramento dell'intervento in progetto su tematismo PGRA_ Aree Pericolosità idraulica



Figura 5 – Inquadramento dell'intervento in progetto su tematismo PGRA_ Aree di Rischio Idraulica

Come si evince dalle planimetrie precedenti, l'intervento infrastrutturale in tutto il suo sviluppo è estraneo ad aree di Pericolosità Idraulica e di Rischio Idraulico di qualsiasi grado.

L'intervento infrastrutturale in progetto risulta essere completamente esterno ed estraneo alle aree menzionate.

3 IDROLOGIA

3.1 Generalità

Lo studio delle piogge avviene utilizzando metodologie statistiche, basate su misure delle altezze di precipitazione realmente osservate.

La rappresentazione di un evento pluviometrico di una certa durata τ , viene effettuata mediante una curva, detta curva segnalatrice di possibilità pluviometrica o climatica, caratterizzata generalmente dalla seguente espressione:

$$i = at^n$$

nella quale h rappresenta l'altezza di precipitazione caduta nell'intervallo di tempo t ; a ed n sono dei coefficienti determinati statisticamente.

Le CPP (curve di possibilità pluviometrica) possono essere ricavate tramite un'analisi statistica attraverso il modello probabilistico di Gumbel dei massimi annui giornalieri della pioggia per le durate di precipitazione di 1, 3, 6, 12 e 24 ore registrati al pluviografo più vicino e/o rappresentativo.

In caso di assenza di dati pluviometrici per la determinazione delle CCP associate ai diversi tempi di ritorno T_r , è possibile utilizzare il metodo regionalizzato sviluppato nel Progetto VAPI dal Compartimento di Napoli del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN), con particolare riferimento a quanto riportato nella "Valutazione delle Piene in Campania" Rossi e Villani [1995].

L'area interessata dallo studio riguarda i bacini del versante Tirrenico che vanno dal F. Liri- Garigliano al F. Bussento e i dati idropluviometrici relativi sono gestiti dalla sezione di Napoli del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN). La rete pluviometrica del SIMI al 1980 risultava composta da 319 stazioni di misura delle piogge con almeno 10 anni di osservazione, di cui 227 ricadono all'interno dell'area di studio; in particolare, 44 di esse posseggono anche 10 o più anni di osservazioni pluviografiche relative ai massimi annuali delle altezze di pioggia di durata inferiore al giorno.

Nel caso in disamina ci si avvale dei rilevamenti del pluviografo di Rosarno che offre un numero di dati congruente e più aggiornati, 55 registrazioni dal 1928 al 2018, rispetto a quelli presi in considerazione dal metodo VAPI che si fermano al 1980.

Il fatto di avere una banca dati pluviometrici puntuali associati al territorio ben maggiore di quelli offerti dal VAPI che sono distribuiti sul territorio e proporzionalmente in numero inferiore fa sì che il pluviografo di Rosarno, che dista circa 8 km dall'intervento di progetto su terreno pressoché pianeggiante, è considerevolmente rappresentativo della forzante pluviometrica insistente sul territorio.



Figura 6 – Posizione Stazione pluviometriche rispetto all'area progettuale

Nel presente studio oltre a quella di Rosarno sono state analizzate anche le seguenti stazioni pluviometriche che risultano essere ubicate in corrispondenza e in posizioni prossime e geo-orograficamente simili all'area oggetto degli interventi:

Stazione pluviometrica	Tipologia osservazione	Numero osservazioni	Periodo osservazioni (anni)
Gioia Tauro-Budello	Altezza pioggia giornaliera cumulata	25	1963-1987
Palmi	Altezza di pioggia oraria (1-3-6-12-24 ore)	2	2022-2003
Rizziconi	Altezza pioggia giornaliera cumulata	35	1936-1998
Rizziconi Ponte Vecchio	Altezza di pioggia oraria (1-3-6-12-24 ore)	4	2002-2005

Queste stazioni non sono state utilizzate nel presente studio idrologico per la definizione delle cpp, in quanto:

- O non risultano presenti registrazioni di dati relativi alle durate 1-3-6-12-24 ore, come nel caso di Gioia Tauro Budello e Rizzi,
- oppure le serie di dati a disposizione presentano una estensione temporale ed una numerosità del campione (variabile tra 4 e 2 anni rispettivamente per le stazioni di Rizziconi Ponte Vecchio e Palmi) tale da non poter essere utilizzate per una elaborazione di tipo statistico affidabile, quale quella utilizzata per la definizione delle cpp.

3.2 Analisi statistica dei dati pluviometrici

Le curve di caso critico, pur fornendo alcune informazioni sul carattere degli eventi pluviometrici, non danno modo di marcare in forma esplicita ogni evento registrato con il valore della sua frequenza probabile: cioè non consentono di valutare quale sia la ricorrenza media del suo verificarsi. L'analisi statistica degli eventi osservati consente invece di allargare il campo delle previsioni oltre il periodo di osservazione e di associare ad ogni evento un tempo di ritorno T_r , inteso come periodo, espresso in anni, nel quale mediamente l'evento viene eguagliato o superato.

Per sviluppare l'analisi statistica sopra descritta sono stati considerati i dati di pioggia registrati nella stazione pluviometriche più vicine all'intervento in progetto e più significative in termini di numerosità del campione e di conseguenza per le estrapolazioni di tipo statistico.

La scelta è ricaduta sulla stazione pluviometrica Rosarno di cui si riportano di seguito, in forma tabellare le caratteristiche.

Stazione pluviometrica	Numero osservazioni	Periodo osservazioni (anni)	Altitudine (m s.l.m.)	Latitudine Gauss Boaga	Longitudine Gauss Boaga
Rosarno	55	1928-2018	23	38°30'01.54" N	15°59'17.18" E

Tabella 1 - Caratteristiche stazione pluviometrica di Rosarno

Stazione pluviometrica di Rosarno - Altezze di pioggia (mm) per durate superiori all'ora					
Anno	1	3	6	12	24
1928	11.8	21.8	25.5	30.4	36.4
1930	50.6	85.0	119.3	176.3	243.3
1932	35.0	42.0	47.0	47.5	72.5
1933	58.8	72.8	72.8	72.8	72.8
1934	33.0	67.8	83.0	87.7	120.1
1935	14.0	24.0	29.6	34.6	36.0
1936	17.6	48.6	66.2	92.6	95.2
1937	13.6	25.0	41.6	49.6	49.6

Stazione pluviometrica di Rosarno - Altezze di pioggia (mm) per durate superiori all'ora					
Anno	1	3	6	12	24
1938	15.6	21.0	30.8	51.4	79.4
1940	25.0	64.4	69.2	71.0	83.0
1944	28.0	33.4	43.0	54.8	61.4
1949	14.0	21.8	26.8	36.0	41.6
1950	20.0	27.8	30.0	30.2	33.0
1951	31.0	46.6	80.8	92.4	92.6
1953	20.0	33.0	39.8	52.0	67.0
1954	26.4	31.4	36.4	55.6	84.4
1955	28.2	39.0	39.4	41.2	68.6
1957	40.6	49.8	54.6	56.2	87.4
1959	42.0	99.0	119.1	150.1	151.5
1962	13.4	18.6	32.4	35.4	40.4
1963	17.6	23.6	36.2	37.8	42.0
1964	31.8	46.6	56.8	56.8	72.6
1966	19.0	25.4	29.8	32.0	44.8
1967	70.0	95.0	101.3	101.3	101.3
1970	28.0	53.0	59.2	59.2	59.2
1973	27.2	43.6	67.2	100.3	101.5
1974	46.8	86.6	112.1	149.5	154.5
1979	35.6	39.8	39.8	39.8	48.0
1982	29.8	34.4	35.2	41.4	71.2
1983	31.8	49.4	60.2	60.2	60.2
1985	29.8	35.8	35.8	35.8	46.6
1988	21.0	38.2	46.6	54.4	58.0
1990	13.6	20.2	32.6	49.8	66.4
1993	41.8	62.8	62.8	63.0	63.0
1994	28.6	41.0	51.8	61.6	70.2
1995	20.0	33.4	44.6	55.6	79.0
1996	18.0	25.8	49.8	60.8	69.4
1997	19.8	32.8	39.2	55.4	89.0
2002	27.0	41.0	41.2	65.2	65.2
2003	29.0	35.4	37.6	56.2	62.6
2004	35.0	43.6	53.4	84.2	84.4
2005	23.8	25.4	38.4	42.4	49.0
2006	17.2	28.8	44.6	61.4	70.4

Stazione pluviometrica di Rosarno - Altezze di pioggia (mm) per durate superiori all'ora					
Anno	1	3	6	12	24
2007	23.4	37.8	55.4	57.2	63.6
2008	17.4	40.2	62.4	79.2	95.8
2009	35.2	56.4	66.0	128.8	185.8
2010	39.0	86.6	136.0	138.8	139.0
2011	50.0	58.8	78.8	90.2	91.4
2012	37.8	80.8	90.8	98.8	132.2
2013	26.2	39.0	44.2	48.8	83.8
2014	21.0	28.6	48.6	70.6	92.4
2015	38.4	40.6	40.6	41.0	66.2
2016	24.2	25.8	27.4	31.0	35.0
2017	30.6	51.2	51.2	55.8	78.0
2018	31.2	40.0	77.0	79.4	79.0

Tabella 2 - Stazione pluviometrica di Rosarno - Altezze di pioggia (mm) per durate superiori all'ora

Dalle osservazioni delle altezze di pioggia sono state quindi determinate le curve di caso critico cioè le relazioni altezza-durata (o intensità-durata) dei massimi annuali.

Le curve empiriche di caso critico sono state regolarizzate, cioè è stata individuata un'espressione analitica che approssima i dati sperimentali, e consente di valutare l'altezza (o l'intensità) di pioggia per qualsiasi valore della durata e assegnato tempo di ritorno T_r

A tal fine si assegna alla funzione $h(T_r, \tau)$ la seguente espressione in forma monomia:

$$h(T_r, \tau) = a(T_r) \cdot \tau^n$$

Queste equazioni, una per ogni prefissato tempo di ritorno, sono dette curve di possibilità pluviometrica.

L'intensità di pioggia è definita come l'altezza di precipitazione per unità di tempo ed ha la forma:

$$i(T_r, \tau) = \frac{h(T_r, \tau)}{\tau} = a \cdot \tau^{n-1}$$

Passando alla notazione logaritmica l'equazione della curva di possibilità pluviometrica assume la forma lineare e viene ottenuta interpolando i valori per regressione lineare ai minimi quadrati. Gli scarti da minimizzare sono quelli verticali, in quanto la misura di h soffre maggiori di incertezze rispetto a quella del tempo di pioggia:

$$\log(h) = \log(a) + n \cdot \log(\tau)$$

I parametri a sono elaborati statisticamente al fine di trovare una funzione di distribuzione di probabilità in grado di associare un parametro $a(T_r)$ al tempo di ritorno.

Il metodo utilizzato per la regolarizzazione statistica dei dati raccolti può essere riassunto nei seguenti passi:

1. ordinamento delle altezze di pioggia, corrispondenti a ciascuna durata, in senso decrescente;
2. regolarizzazione delle curve così ottenute mediante il metodo dei minimi quadrati, assumendo una relazione tra altezza di pioggia h e durata della precipitazione t del tipo:

$$h = a \cdot t^n$$

In base a tale assunzione, la funzione da minimizzare Ψ è data da

$$\Psi = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (\log h_{ij} - \log a_i - n \log t_j)^2 = \min$$

i pedici i e j identificano le grandezze relative al singolo caso critico ($i = 1, \dots, N$) ed alla generica durata ($j = 1, \dots, M$). Dalla risoluzione di questo problema di minimo si ottiene l'espressione necessaria alla definizione del parametro n e dei corrispondenti parametri a_i .

$$n = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (\log t_j - \log \tau) \cdot \log h_{ij}}{N \sum_{j=1}^M (\log t_j - \log \tau)^2}$$

dove $\log \tau$ è il valor medio delle grandezze $\log t_j$

$$\log(a_i) = \log(H_i) + n \cdot \log(\tau)$$

dove $\log(H_i)$ è il valor medio delle grandezze $\log h_{ij}$, relative all'ordine i . Il parametro "n" risulta, nel caso in studio, pari a $n=0.317$. I parametri a_i sono elaborati statisticamente al fine di trovare una funzione di distribuzione di probabilità in grado di associare un parametro $a(T_r)$ al tempo di ritorno. Nella figura seguenti si esegue il confronto fra la funzione empirica di superamento e le funzioni di ripartizione ottenute con le distribuzioni di probabilità normale, log-normale, di Gumbel, di Frechet della variabile a_i .

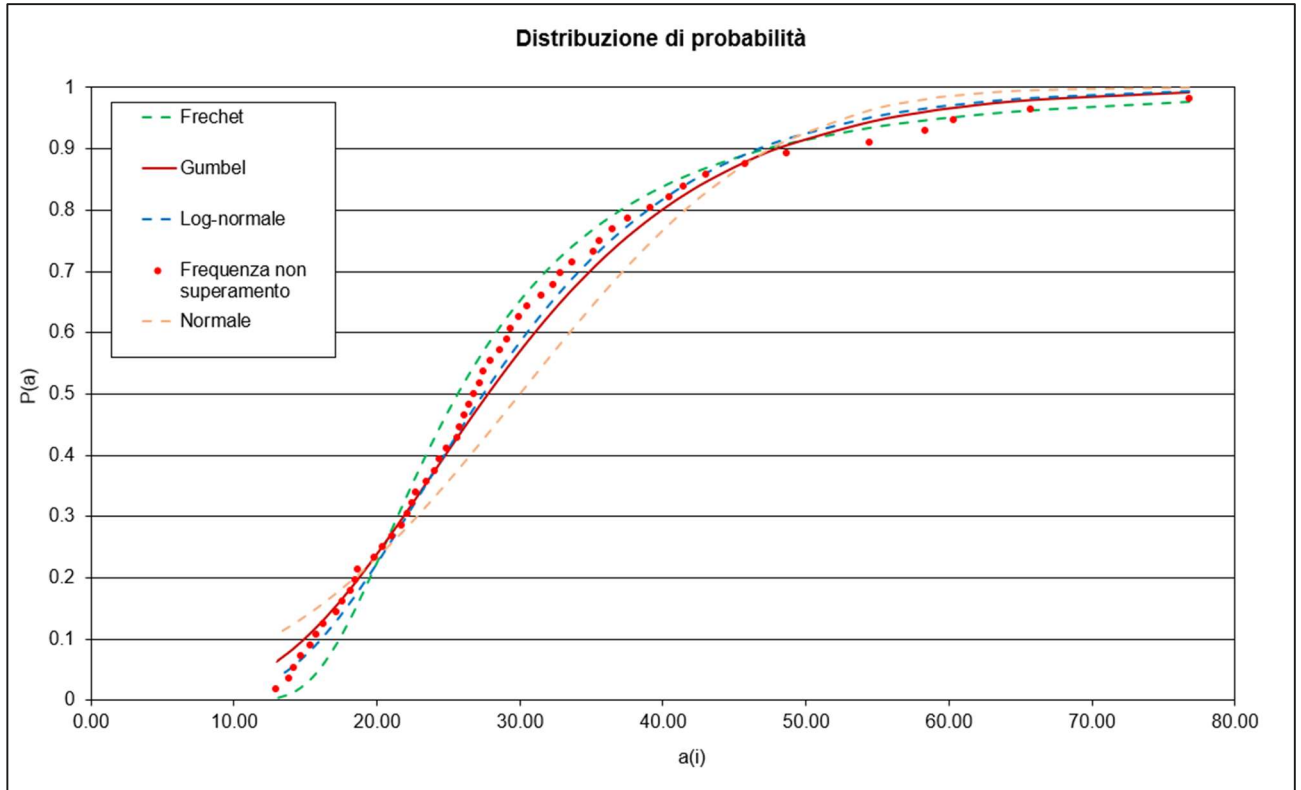


Figura 7 – Funzioni distribuzione di probabilità

Nella tabella seguente è rappresentato il valore $\Delta_{max} = \max [ass(P_k(x) - F(a_k))]$ rappresentativo dell'adattamento della distribuzione di probabilità teorica alla frequenza empirica di non superamento, per quanto riguarda le distribuzioni Normale, LogNormale, Gumbel e Frechet.

	Dist. Gumbel	Dist. LogNormale	Dist. Normale	Dist. Frechet
Δ_{max}	0.044	0.128	0.058	0.071

Tabella 3 - Valori del parametro Δ_{max} per le distribuzioni teoriche Normale, Lognormale, Gumbel e Frechet.

Effettuando il test statistico di Kolmogorov-Smirnoff i valori di Δ_{max}

$$\Delta_{max} = \max | P_k(x) \cdot F(a_k) |$$

devono essere inferiori a

$$\Delta\alpha_{99\%} = \frac{1.63}{\sqrt{N}} = 0.2198$$

$$\Delta\alpha_{99\%} = \frac{1.63}{\sqrt{N}} = 0.308 \text{ (per l'intervallo di confidenza del 99\%)}$$

$$\Delta\alpha_{95\%} = \frac{1.36}{\sqrt{N}} = 0.1834$$

(per l'intervallo di confidenza del 95%).

Si può osservare che tutte le distribuzioni di probabilità elencate superano il test statistico, ma la funzione di probabilità teorica che meglio si adatta al campione è la distribuzione di probabilità di Gumbel.

Si riporta la carta probabilistica la funzione di distribuzione di Gumbel per il campione in esame.

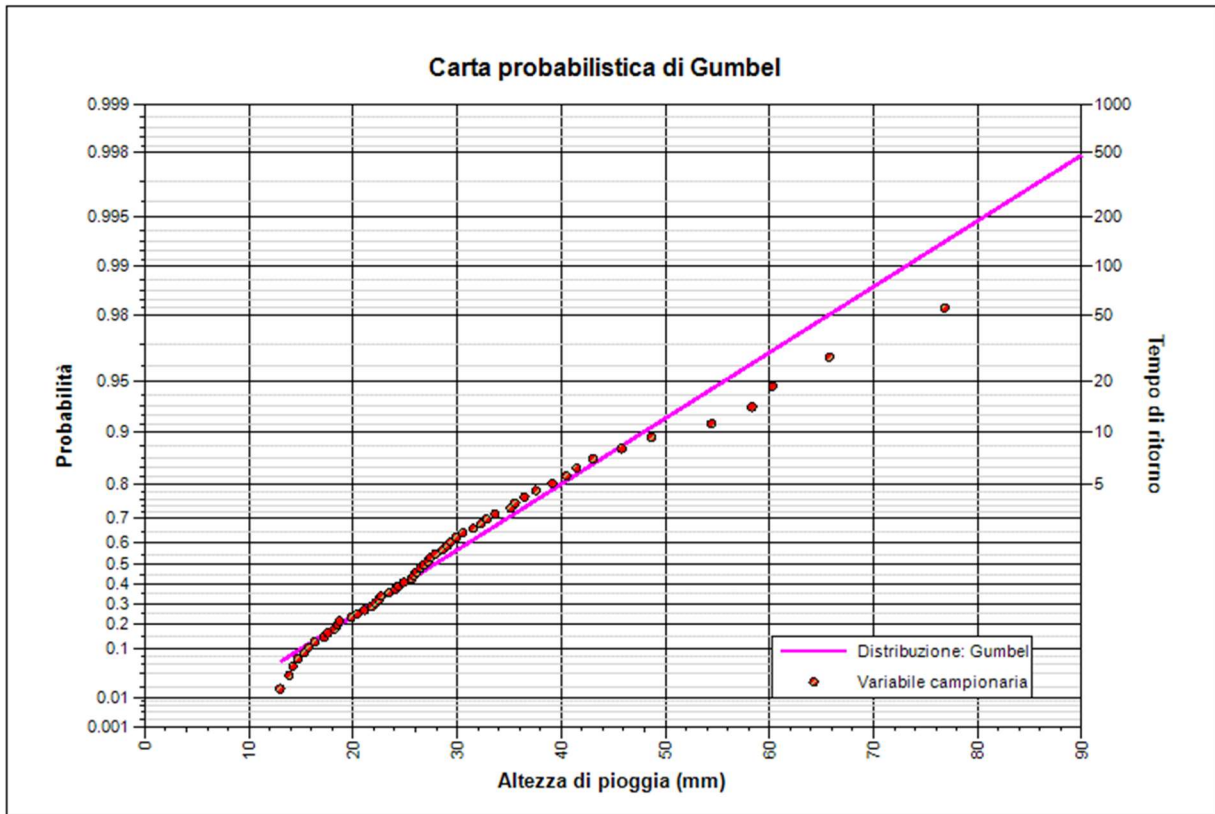


Figura 8 – Carta Probabilistica: confronto tra variabile ridotta di Gumbel e variabile campionaria.

3. definizione del parametro “a” in corrispondenza di diversi tempi di ritorno T_r adottando una distribuzione di probabilità di Gumbel

$$P(a) = e^{e[-\alpha(a-\beta)]}$$

dove i parametri della distribuzione sono valutati mediante il metodo dei momenti

$$\alpha = \frac{1.2825}{\sigma}$$

$$\beta = \mu - 0.45006 \cdot \sigma$$

con

- σ = scarto quadratico medio dei valori a_i
- μ = media dei valori a_i

La relazione tra a ed il tempo di ritorno Tr è dunque data dalla seguente espressione:

$$a(Tr) = \beta - \frac{1}{\alpha} \cdot \ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{Tr} \right) \right)$$

Nel caso in esame sono stati ottenuti i seguenti risultati:

σ	μ	α	β
137.286	30.01	0.0932	2.383.085

Tabella 4 – Parametro distribuzione di Gumbel

Tr (anni)	10	20	25	50	100	200	500	n
a (mm/ore ⁻ⁿ)	47.92	55.62	58.07	65.60	73.07	80.52	90.34	0.317

Tabella 5 – Coefficienti a e n per piogge super orarie al variare di Tr

Per la stima delle portate di progetto di eventuali bacini interferenti con l'asse di progetto si farà riferimento ai parametri della CPP $a_{200} = 80.52$ (mm/hn) e $n_{200} = 0.317$ (-).

3.3 Definizione delle altezze di pioggia per eventi di durata inferiore all'ora

Generalmente le osservazioni relative alle piogge intense sono rilevate per intervalli di 1, 3, 6, 12, 24 ore mentre sono raramente disponibili i dati relativi alle piogge intense per intervalli inferiori a 1 ora, anche per la connessa difficoltà della registrazione accurata che si effettua con i pluviometri con registrazione su carta (pluviografi), che utilizzano per la registrazione una striscia settimanale.

Adottando i pluviografi che utilizzano per la registrazione una striscia giornaliera ed i pluviometri digitali, il bilanciere consente l'accuratezza della lettura per piogge di massima intensità che si estende a intervalli dell'ordine del minuto: più è breve l'intervallo di discretizzazione, più è dettagliata è la descrizione dell'evento pluviometrico, ma più onerosa risulta la gestione dell'informazione.

Peraltro, le informazioni relative alle piogge intense di breve durata non sono disponibili nella maggior parte delle stazioni pluviometriche, e per valutarle è opportuno adoperare particolari formule per la stima dell'intensità di pioggia, in quanto l'estrapolazione delle curve di probabilità pluviometrica a tempi inferiori ad un'ora conduce ad una sovrastima delle intensità.

Nel caso oggetto della presente relazione il calcolo delle curve di probabilità pluviometrica a tempi inferiori ad un'ora è stata utilizzata la formula di Bell.

Bell ("Generalized Rainfall Duration Frequency Relationship" – Journal of the Hydraulics Division – Proceedings of American Society of Civil Engineers – volume 95, issue 1 – gennaio 1969) ha osservato che i

rapporti r_T tra le altezze di durata t molto breve ed inferiori alle due ore e l'altezza oraria sono relativamente poco dipendenti dalla località in cui si verificano.

Nelle tabelle seguenti sono riportati i parametri statistici negli Stati Uniti e in Australia, e il campo di variabilità di r_0 negli Stati Uniti e ex Unione Sovietica.

Parametro	t minuti			
	5	15	20	120
STATI UNITI				
Media	0.29	0.57	0.79	1.25
Deviazione standard	0.03	0.04	0.04	0.08
AUSTRALIA				
Tempo di ritorno 2 anni (media)	0.30	0.57	0.77	1.24
Tempo di ritorno 10 anni (media)	0.31	0.58	0.78	1.25
Tempo di ritorno 25 anni (media)	0.30	0.58	0.79	1.23
Media	0.30	0.57	0.78	1.24
Deviazione standard	0.04	0.04	0.03	0.06

Tabella 6 – Rapporti tra massimi annuali altezze di pioggia di diversa durata e la corrispondente altezza oraria negli USA e Australia

Parametro	t minuti			
	5	15	20	120
STATI UNITI				
Valore superiore	0.32	0.61	0.83	1.31
Valore inferiore	0.26	0.53	0.75	1.17
EX UNIONE SOVIETICA				
Valore superiore	0.37	0.61	0.83	1.31
Valore inferiore	0.26	0.53	0.75	1.17

Tabella 7 – Intervalli di variazione rapporti massimi annuali altezze di pioggia di diversa durata e la corrispondente altezza oraria negli USA e nella ex URSS

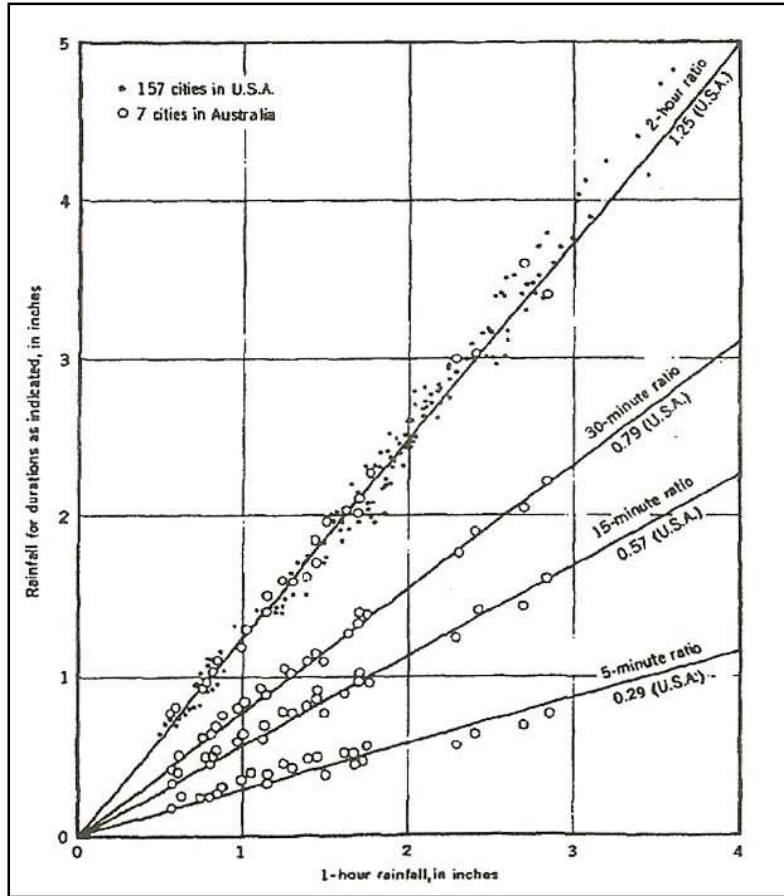


Figura 9 - Relazione altezza-frequenza per 1,5, 10 anni

Lo U.S. Water Bureau raccomanda per tempi di pioggia inferiore a mezz'ora l'adozione di una relazione empirica, derivata interamente da dati di breve durata; tale relazione mostra che il tempo in minuti in pioggia ha un rapporto costante con la pioggia della durata di 1 ora per lo stesso tempo di ritorno così come segue:

t (minuti)	5	10	15	30
$r_t = h_t / h_{60}$	0.29	0.45	0.57	0.79

Questi rapporti variano di molto poco negli Stati Uniti ed i loro valori sono indipendenti dal periodo di ritorno. Bell, come sopra accennato, sulla scorta di osservazioni provenienti da oltre 150 stazioni con oltre 40 anni di osservazione, ha dimostrato che tale correlazione si può estendere fino a valori di durata sino alle due ore, come risulta dalla figura 10, ha riscontrato la costanza dei rapporti tra tempi di pioggia breve e tempo di pioggia della durata pari ad un'ora, anche in Australia, Africa, Hawaii, Alaska e Porto Rico.

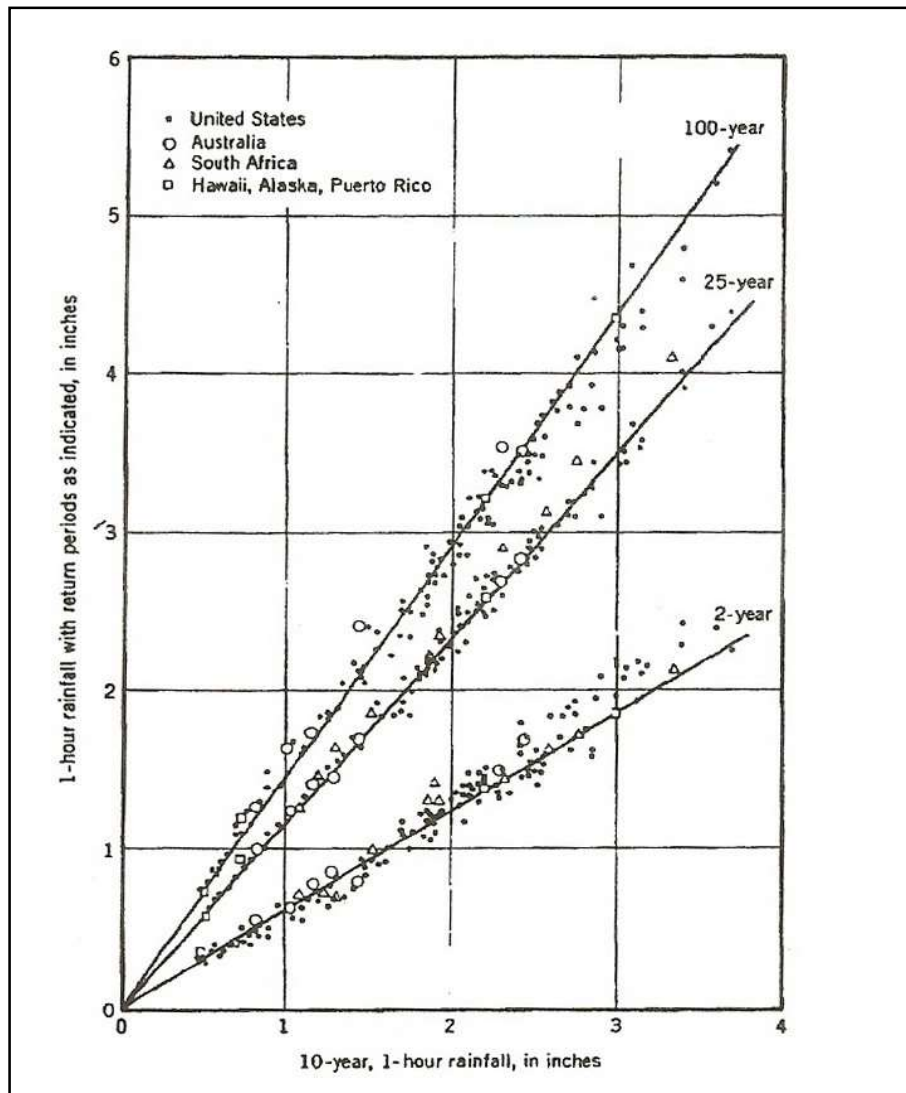


Figura 10 - Relazione altezza-frequenza per 2,25, 100 anni

In relazione alla modesta variazione dei rapporti di intensità durata correlata al tempo di ritorno, ha proposto la seguente relazione che ben si adatta ai dati osservati:

$$\frac{P_T^t}{h_T^{60}} = (0.54t^{0.25} - 0.50)$$

applicabile per $5 \leq t \leq 120$ minuti dove:

- P_T^t indica l'altezza di pioggia relativa ad un evento pari al tempo t riferita al periodo di ritorno T
- h_T^{60} è l'altezza di pioggia relativa ad un evento di durata pari ad un'ora riferita al periodo di ritorno T
- t è il tempo di pioggia espresso in minuti

Tali osservazioni sono state successivamente riprese da Calenda ("Piogge intense" – Deflussi Urbani – Giornate di Studio 23/24 novembre 1995, Roma, Associazione Idrotecnica Italiana), che ha osservato che dagli stessi rapporti ottenuti dalla curva di involuppo delle massime piogge osservate nel mondo, di equazione $h_{\delta}=309\delta^{0.50}$, con δ in ore, derivano i seguenti risultati (Jennings, 1950, Hershfield e Engman 1981):

t (minuti)	5	10	15	20	30	45	120	240
$r_{\delta}=h_{\delta}/h_j$	0.29	0.45	0.50	0.58	0.71	0.87	1.41	2.00

Sempre come riportato da Calenda, i è potuto osservare che al pluviometro registratore di Roma Macao su un campione di 8 anni sono stati calcolati i seguenti rapporti dei valori medi delle massime altezze di pioggia annue di diversa durata rispetto al valor medio della massima altezza oraria dell'anno (Romanico, 1986; Calenda et al., 1988):

t (minuti)	5	10	15	20	25	30
$r_{\delta}=h_{\delta}/h_j$	0.278	0.435	0.537	0.632	0.709	0.758

e ai pluviografi di Milano Monviso, su un campione di 117 anni (Piga et al.,1990) sono stati calcolati i seguenti rapporti dei valori medi delle massime altezze di pioggia annue di diversa durata h_{δ} rispetto al valor medio della massima altezza annua oraria h_j e i corrispondenti rapporti dei valori massimi:

t (minuti)	1	2	3	4	5	10	15	30	45
$r_{\delta}=h_{\delta}/h_j$	0.130	0.180	0.229	0.272	0.322	0.489	0.601	0.801	0.913
$r_{\delta m}=h_{\delta m}/h_{jm}$	0.155	0.178	0.215	0.241	0.304	0.449	0.568	0.700	0.799

Applicando la formula di Bell sopra indicata, si ottengono i seguenti risultati:

$$r_s = (0.54t^{0.25}-0.50)$$

t (minuti)	5	10	15	20	25	30	40	45	50
r_s	0.307	0.46	0.563	0.642	0.707	0.764	0.858	0.899	0.936

I valori ottenuti utilizzando l'equazione di Bell si discostano quindi di poco dai valori riscontrati sperimentalmente anche in Italia sopra riportati e si possono considerare affidabili per il calcolo delle precipitazioni per periodi inferiori a 1 ora.

Quindi ai fini della valutazione delle altezze di pioggia nei bacini con tempo di corrivazione inferiore a 1 ora si adotta la seguente relazione:

$$h_t = \beta h_{60} \quad \text{con } \beta = (0.54t^{0.25} - 0.50)$$

ottenuto applicando il valore di h_{60} per gli assegnati tempi di ritorno e ricavati dall'analisi statistica dei dati pluviometrici di Rosarno.

Nota l'altezza di pioggia h_t relativa all'evento di durata t , passando ai logaritmi, le coppie altezza di pioggia-durata vengono regolarizzate con l'equazione di una retta dove il coefficiente angolare rappresenta il parametro n' .

Sulla base di quanto sopra riportato sono stati stimati i seguenti parametri per le piogge suborarie.

T_r (anni)	10	20	25	50	100	200	500	n'
a (mm/ore ^{-n'})	47.92	55.62	58.07	65.60	73.07	80.52	90.34	0.463

Tabella 8 – Coefficienti a e n' per piogge suborarie al variare di T_r

Le Linee Guida della Progettazione redatte dalla Direzione Progettazione e Realizzazione Lavori dell'ANAS in ottemperanza alle direttive del CSLLP, indicano che il calcolo delle portate generate sulla piattaforma stradale è da riferirsi ad eventi meteorici con $T_r=25$ anni mentre per i fossi di guardia a presidio dei rilevati e dei tratti in trincea ad eventi relativi a $T_r=50$ anni.

Data l'importanza della strada di progetto e la presenza di diversi tratti in trincea si opta per il calcolo delle portate di deflusso, interne ed esterne alla piattaforma stradale, utilizzando parametri della curva di possibilità pluviometrica associati a forzanti idrologiche con un $T_r=50$ anni quali $a_{50} = 65.60$ (mm/h^{n'}) e $n_{50} = 0.463$ (-).

4 DESCRIZIONE DEL BACINO INTERFERITO – CANALE IV

Come già indicato nella premessa la nuova viabilità interseca il tratto iniziale del collettore denominato Canale IV che si sviluppa parallelamente alla strada vicinale Colonomo per poi piegare a sinistra dopo l'area portuale e raggiungere il mare. Questo elemento idraulico artificiale ha funzione di protezione dell'area portuale per la quale storicamente non si rilevano allagamenti.

Non ci sono evidenze di impluvi preferenziali con esito nel canale in questione; tale situazione è dovuta al fatto che la quota parte di volume di pioggia che non si infiltra nel terreno caratterizzato da una elevata permeabilità arriva al Canale IV in maniera distribuita sulla sua lunghezza.

Si riporta di seguito una stralcio planimetrico da ortofoto ove si evidenzia il bacino sotteso dalla sezione di chiusura in corrispondenza dell'asse del tracciato di progetto.



Figura 11 – Interferenza tracciato con il Canale IV

L'intersezione avviene all'altezza del km 0+040 circa dell'asse della carreggiata destro di progetto con un canale trapezoidale in terra con dimensioni 3.00mx1.00m con sponde inclinate 2 su 3 e con pendenza longitudinale prossima a $p=0.20\%$ che sviluppa su terreno pressoché pianeggiante e lungo un'area non soggetta a pericolosità idraulica.

I dati utilizzati per la perimetrazione del bacino e delle sue caratteristiche vengono di seguito elencati:

- modello digitale del terreno con risoluzione 10m x 10m desunta dalla sezione di Pisa dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Tinitaly DEM;
- carta Numerica Regionale in scala 1:25000;
- carta dell'uso del Suolo (Corinne Land Cover) in formato vettoriale (shapefile).

Attraverso l'uso del software Gis Open Source (QGIS), in grado di processare dati territoriali ed eseguirne analisi di tipo spaziale, sono state ricavate le principali caratteristiche morfologiche, fisiche ed idrologiche utili o necessarie allo studio idrologico oggetto del presente elaborato.

In particolare, sono stati determinati:

- | | |
|---|----------------------|
| - Area del bacino idrografico sottesa: | 2.36 Km ² |
| - Lunghezza dell'asta idrografica principale: | 0.540 Km |
| - Altitudine massima: | 51 m s.l.m. |
| - Altitudine minima: | 5 m s.l.m. |
| - Altitudine media: | 35 m s.l.m. |
| - Pendenza media asta idrografica principale: | 0.20% |

5 STIMA DELLE PORTATE DI PROGETTO

5.1 Metodo razionale

Per la stima delle portate al colmo di piena necessaria per il dimensionamento dell'opera di risoluzione idraulica è stato utilizzato il metodo razionale.

Alla base di tale procedura vi sono le seguenti assunzioni:

- la massima piena avviene per precipitazioni meteoriche con durata pari al tempo di corrivazione del bacino;
- il picco di piena ha il medesimo tempo di ritorno della precipitazione che lo ha generato;
- la formazione delle piene ed il suo trasferimento lungo il reticolo idrografico avviene senza la formazione di invasi significativi; nel caso si formino invasi significativi il colmo di piena calcolato con questa metodologia sarà sovrastimato.

La portata al colmo di piena è espressa dalla formula:

$$Q = \frac{\varphi h_{Tr} S}{3,6 t_c} (m^3 / s)$$

dove

φ = coefficiente di deflusso del bacino ricavato nel seguito tramite metodo del Curve Number;

h_{Tr} = altezza massima di pioggia associata al T_r per una durata pari al tempo di corrivazione (mm);

S = superficie del bacino (km²);

t_c = tempo di corrivazione del bacino (ore).

5.1.1 Tempo di corrivazione

La determinazione del valore del tempo di corrivazione avviene tramite formule empiriche dipendenti dalle caratteristiche fisiografiche dei bacini; si riportano di seguito alcune delle metodologie di calcolo più note in letteratura idraulica applicabili in funzione dell'estensione della superficie drenata.

- per bacini con estensione areale A minore ad 1 km² – calcolo dei tempi di corrivazione mediante la formula di Kirpich

$$t_{cK} = 0,95 \cdot (L)^{1,155} \cdot S^{-0,385}$$

dove:

L = lunghezza dell'asta principale [m];

S = pendenza media del bacino [-] .

- per bacini con estensione areale superiore ai 170 km² fino a 170000 km² – ricorrendo all'uso della formula di Giandotti

$$t_{CG} = (4\sqrt{A} + 1,5L) / (0,8\sqrt{\Delta H})$$

dove:

- A = superficie del bacino sotteso dall'attraversamento [km²];
- L = lunghezza dell'asta principale [km];
- ΔH = dislivello medio del bacino imbrifero [m].

- per bacini di pianura e bassa collina (altezza media <100m) si può adottare la formula di Pasini

$$t_{CP} = \frac{0.108(\sqrt[3]{A \cdot L})}{\sqrt{i}}$$

dove:

- A = superficie del bacino sotteso dall'attraversamento [km²];
- L = lunghezza dell'asta principale [km];
- i = pendenza media dell'asta principale [-].

Si riportano di seguito i valori calcolati con i metodi sopra riportati; l'area del bacino è tale da non essere riconducibile alle formulazione di Kirpich e Giandotti.

Poiché il bacino in disamina appartiene alla piana di Gioia Tauro, è classificabile come bacino di pianura a bassa collina con altezza media $h_{med}=35m$ s.l.m. < 100m s.l.m. si utilizza la formula di Pasini.

Bacino	Kirpich (ore)	Giandotti (ore)	Pasini (ore)	Tempo di Corrivazione di progetto (ore)
Canale IV	0.19	1.59	2.62	2.62

5.1.2 Calcolo pioggia netta - Metodo del Curve number

Il coefficiente di deflusso relativo a ciascun bacino idrografico di interesse è stimato mediante il metodo del Curve Number, proposto dal Soil Conservation Service (1972).

Poiché il deflusso superficiale è dipendente dalle piogge efficaci ovvero le precipitazioni atmosferiche al netto dei volumi infiltrati nel terreno, il metodo del CN si basa sull'assunzione che il volume specifico (altezza) di

pioggia netta (efficace) P_{net} risulti legato al volume specifico (altezza) di pioggia lorda P (pioggia effettiva) caduta nel medesimo intervallo temporale dalla relazione:

$$P_{net} = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} [mm]$$

nella quale S è il massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizione di saturazione ed I_a è la cosiddetta perdita iniziale, vale a dire quel valore limite di altezza di pioggia che il terreno può trattenere nella fase iniziale del fenomeno senza che si abbia creazione di deflusso; il parametro S corrisponde al volume idrico trattenuto dal terreno e dalla vegetazione, e quindi sottratto al deflusso superficiale dopo l'istante in cui si ha $P > I_a$; fino all'istante in cui non si ha $P < I_a$ il deflusso superficiale è da ritenersi praticamente assente.

In realtà con l'introduzione della perdita iniziale I_a si vuole tenere conto anche di quel complesso di fenomeni, quali l'intercettazione da parte della vegetazione e l'accumulo nelle depressioni superficiali del terreno, che ritardano il verificarsi del deflusso superficiale. Le perdite iniziali I_a vengono di norma assunte pari ad una frazione di S come riportato nella seguente formulazione classica:

$$I_a = 0.2 \cdot S [mm]$$

che risulta verificata in buona approssimazione.

La valutazione del valore di S può invece essere ricondotta a quella dell'indice CN (Curve Number), cui esso risulta legato dalla relazione:

$$S = 254 \cdot \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) [mm]$$

L'indice CN è un numero adimensionale, compreso fra 0 e 100, funzione della permeabilità della litologia superficiale, dell'uso del suolo e del grado di saturazione del terreno prima dell'evento meteorico. Il Soil Conservation Service (SCS) sulla base della capacità di assorbimento del terreno nudo a seguito di prolungato adacquamento, ha classificato i vari tipi di suolo in quattro gruppi (A, B, C, D):

- Gruppo A – Scarsa potenzialità di deflusso: comprende forti spessori di sabbia con scarsissimo limo e argilla; anche forti spessori di ghiaie profonde, molto permeabili.

- Gruppo B – Potenzialità di deflusso moderatamente bassa: comprende la maggior parte degli strati sabbiosi meno spessi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
- Gruppo C – Potenzialità di deflusso moderatamente alta: comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloid, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
- Gruppo D – Potenzialità di deflusso molto elevata: comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.

Tabella 9 – tabella tipologico suolo

Tipo idrologico di suolo (SCS-CN)	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma nel gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità i infiltrazione anche a saturazione
C	Potenzialità moderatamente alta. Comprende suoli sottili contenenti considerevoli quantità d'argilla e collodi, anche se meno del gruppo D. il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso medio-alta. comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti impermeabili in vicinanza delle superfici

Tabella 10 - Tipo idrologico suolo SCS - CN

Per tali gruppi si riportano i valori del parametro CN corrispondenti a diverse tipologie di utilizzo del suolo.

Tipologia di Uso del Territorio	Tipo idrologico Suolo			
	A	B	C	D
Terreno coltivato				
in presenza di pratiche di conservazione del suolo	62	71	78	81
in assenza di pratiche di conservazione del suolo	72	81	88	91
Terreno a pascolo				
in cattive condizioni	68	79	86	89
in buone condizioni	39	61	74	80
Terreni boscosi o forestati				
in presenza di copertura rada e senza sottobosco	45	66	77	83
in presenza di copertura fitta e con sottobosco	25	55	70	77
Spazi aperti, prati rasati, parchi				
con copertura erbosa superiore al 75% dell'area	39	61	74	80
con copertura erbosa compresa tra il 50 ed il 75% dell'area	49	69	79	84
con copertura erbosa inferiore al 50% dell'area	68	79	86	89
Aree commerciali (area impermeabile 85%)	89	92	94	95
Distretti industriali (area impermeabile 72%)	81	88	91	93
Aree residenziali				
impermeabilità media 65%	77	85	90	92
impermeabilità media 38%	61	75	83	87
impermeabilità media 30%	57	72	81	86
impermeabilità media 25%	54	70	80	85
impermeabilità media 20%	51	68	79	84
impermeabilità media 12%	46	65	77	82
Parcheggi, tetti, autostrade	98	98	98	98
Strade				
pavimentate o asfaltate, dotate di drenaggio	98	98	98	98
con letto in ghiaia	76	85	89	91
battute in terra	72	82	87	89

Tabella 11 - Valori del "Curve Number" CN per i diversi tipi di suolo in funzione dell'uso del suolo per condizioni di umidità iniziale (antecedent moisture conditions – AMC) medie (classe II)

I valori del CN riportati nella tabella precedente si riferiscono ad una condizione di umidità del suolo all'inizio dell'evento meteorico di tipo standard, precisamente quella intermedia indicata come AMC II (Antecedent Moisture Condition II).

Poiché il rifiuto del terreno è un fenomeno dinamico, che dipende dallo stato del sistema, ovvero dallo stato di imbibimento del bacino, si assume che il valore di CN possa variare in relazione alle condizioni iniziali di imbibimento all'atto della piena. Lo stato di imbibimento viene espresso, in modo quali-quantitativo, in base ad un indice di pioggia, dato dall'altezza totale di pioggia caduta nei cinque giorni che precedono l'evento di piena, API5. A seconda del valore di API5, vengono identificate le tre classi AMC I, II e III, che rappresentano rispettivamente terreno inizialmente asciutto, mediamente imbibito e fortemente imbibito.

CLASSE AMC	Altezza di pioggia nei 5 giorni precedenti (mm)	
	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I - asciutta	< 12.7	< 35.5
II - media	12.7 - 28.0	35.5 - 53.3
III - umida	> 28.0	> 53.3

Tabella 12 - Definizione della classe di umidità in base al parametro API5

Noto il valore di CN per le condizioni medie di imbibimento, per passare a condizioni di umidità iniziale asciutte (classe AMC I) o umide (classe AMC III), si utilizzano le curve riportate di seguito.

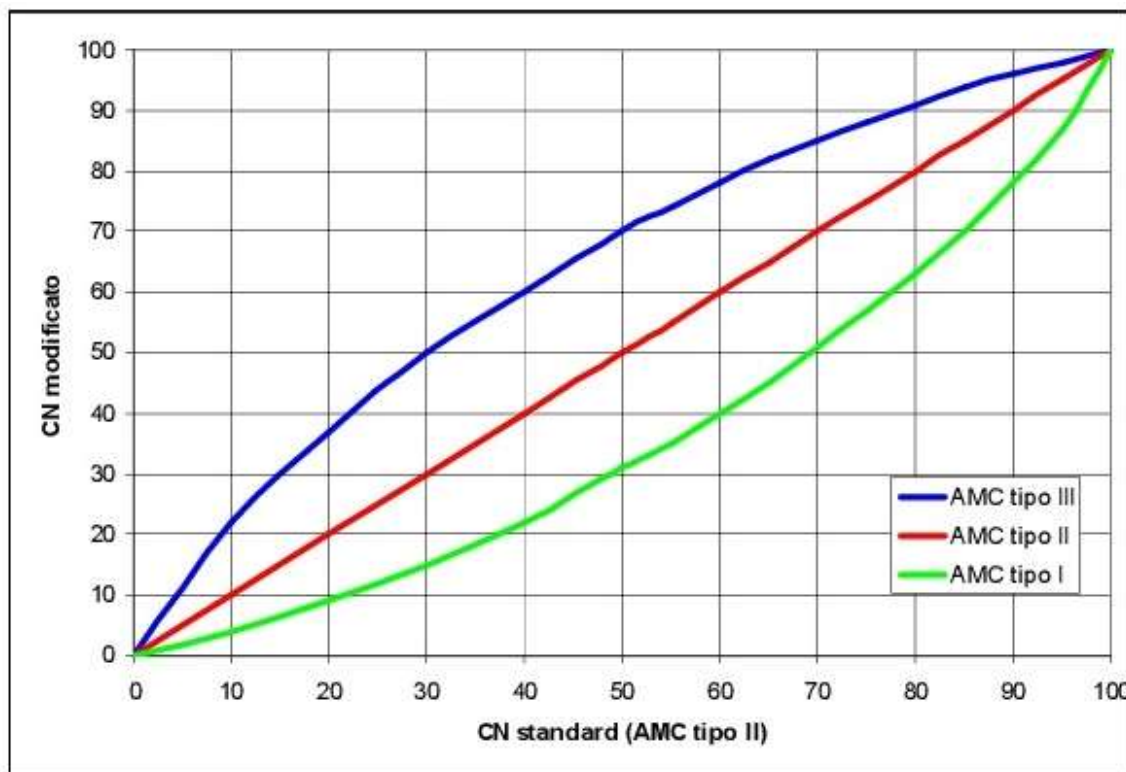


Figura 12 – Curve di conversione dei valori di CN per le diverse condizioni di umidità del suolo antecedenti l'evento

Tali curve possono essere interpolate mediante le seguenti relazioni:

$$CN(I) = \frac{4.2 \, CN(II)}{10 - 0.058 \, CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23 \, CN(II)}{10 + 0.13 \, CN(II)}$$

Nel caso di terreni variegati possono essere identificate alcune categorie fondamentali per definire un valore globale del CN, pesato in ragione dell'estensione delle sottozone con le quali si è suddiviso il bacino.

Una volta calcolata la pioggia netta (efficace) P_{net} , il coefficiente di deflusso è pari a:

$$c = \frac{P_{net}}{P}$$

Nel caso in esame, al fine di definire il CN del bacino in studio, sono stati analizzati i seguenti documenti:

- "Corinne Land Cover" anno 2018 regione Calabria_ Shapefile desunto dall'ISPRA;
- Foto satellitari, al fine di valutare eventuali variazioni significative rispetto a quanto riportato nelle suddette carte;
- Carta Geolitologica d'Italia _Portale Cartografico Nazionale Ministero dell'Ambiente.

Non avendo a disposizione una carta del CN della Regione Calabria il valore del numero di curva è stato ricavato dalla classificazione dei terreni redatta dal Corinne Land Cover.

In base alle diverse caratteristiche di permeabilità dei terreni e dell'uso del suolo è stato possibile creare una tabella di conversione CLC → CN Il già utilizzata dalla Regione Toscana che si riporta di seguito.

Uso del suolo	Tipo idrologico suolo			
	A	B	C	D
111 - Tessuto urbano continuo	89	92	94	95
112 - Tessuto urbano discontinuo	77	85	90	92
121 - Unità industriali o commerciali	81	88	91	93
122 - Reti di strade e binari e territori associati	98	98	98	98
123 - Aree portuali	98	98	98	98
124 - Aeroporti	98	98	98	98
131 - Luoghi di estrazioni di minerali	76	85	89	91
132 - Discariche	81	88	91	93
133 - Luoghi di costruzione	77	86	91	94
141 - Aree di verde urbano	49	69	79	84
142 - Strutture di sport e tempo libero	68	79	86	89
211 - Seminativi non irrigati	61	73	81	84
212 - Suolo permanentemente irrigato	67	78	85	89
213 - Risaie	62	71	78	81
221 - Vigneti	76	85	90	93
222 - Frutteti e frutti minori	43	65	76	82
223 - Oliveti	43	65	76	82
231 - Pascoli	49	69	79	84
241 - Colture annuali associate a colture permanenti	61	73	81	84
242 - Coltivazione complessa	61	73	81	84
243 - Suoli principalmente occupati dall'agricoltura	61	73	81	84

Uso del suolo	Tipo idrologico suolo			
	A	B	C	D
244 - Aree di agro-selvicoltura	43	65	76	82
311 - Foreste a latifoglie	36	60	73	79
312 - Foreste a conifere	36	60	73	79
313 - Foreste miste	36	60	73	79
321 - Prateria naturale	49	69	79	84
322 - Lande e brughiera	49	69	79	84
323 - Vegetazione sclerofila	35	56	70	77
324 - Transizione suolo boscoso/arbusti	35	56	70	77
331 - Spiagge, dune e piani di sabbia	46	65	77	82
332 - Roccia nuda	96	96	96	96
333 - Aree scarsamente vegetate	63	77	85	88
334 - Aree bruciate	63	77	85	88
335 - Ghiacciai e nevi perenni	98	98	98	98
411 - Paludi interne	98	98	98	98
412 - Torbiere	98	98	98	98
421 - Paludi di sale	98	98	98	98
422 - Saline	98	98	98	98
423 - Piani intertidali	98	98	98	98
511 - Corsi d'acqua	98	98	98	98
512 - Corpi d'acqua	98	98	98	98
521 - Lagune costiere	98	98	98	98
522 - Estuari	98	98	98	98
523 - Mare	98	98	98	98

Tabella 13 – Conversione CLC a CN

Con riferimento al bacino idrografico in studio, si è proceduto all'individuazione delle categorie fondamentali per definire un valore globale del CN, pesato in ragione dell'estensione areale delle sottozone nelle quali si sono suddivisi gli stessi.

Il bacino perimetrato interessa aree con uso suolo con codice 222 e 223 ovvero rispettivamente Vigneti e Frutteti e frutti minori; in relazione alla capacità di deflusso "il tipo idrologico suolo" su cui risulta impostato il bacini di indagine è stato individuato il tipo A (Bassa potenzialità di deflusso superficiale).

Per entrambe le categorie 222 e 223 per tipologico suolo A corrisponde un CN II=43; supponendo in favore di sicurezza, una condizione iniziale di imbibimento corrispondente a valori di CN (III) si ha che per il calcolo della portata di progetto si farà riferimento al CN III = 65.3.

5.2 Metodo CN-SCS dizione di Mockus

Per il calcolo della portata al colmo Q_p per il dimensionamento dell'opera di risoluzione idraulica si considera un idrogramma approssimato di forma triangolare che ha una fase crescente di durata t_a (tempo di accumulo) e una fase di esaurimento di durata t_e (tempo di esaurimento) e il cui volume V_T ha la seguente espressione:

$$V_T = \frac{Q_p}{2}(t_a + t_e) = \frac{Q_p t_b}{2}$$

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

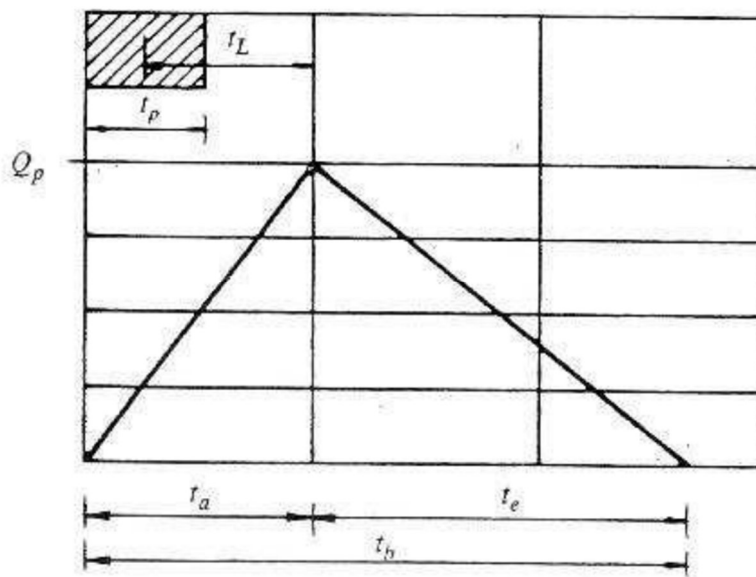


Figura 13 – Idrogramma triangolare utilizzato per il calcolo delle portate al colmo con il metodo SCS

Poiché è stato stabilito sperimentalmente che nella fase crescente dell'idrogramma defluisce un volume idrico che è pari al 37,5 % del volume totale V di deflusso, ne consegue che la durata della fase crescente è pari a 0,375 volte la durata dell'evento di piena t_b e pertanto:

$$t_a = 0,375 t_b$$

Utilizzando tali espressioni si ha che la portata di picco è:

$$Q_p = 0,208 \frac{VA}{t_a}$$

con:

- V volume di deflusso in mm
- t_a il tempo di accumulo in ore
- A l'area del bacino in km²
- Q_p portata di picco in m³/s

La determinazione di t_a , nell'ipotesi di precipitazione di intensità costante di durata t_p pari al tempo di corrivazione t_c del bacino idrografico 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:

$$t_a = 0.5t_p + t_L$$

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

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

$$t_L = 0.342 \frac{L^{0.8}}{s^{0.5}} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7} \quad (\text{h})$$

in cui:

- s è la pendenza del bacino espressa in %
- L è la lunghezza dell'asta principale prolungata fino alla displuviale espressa in km.

Nel caos in disamina applicando tale metodo si avrà:

Tempo di ritardo (h)	t_L	0.589
Tempo di picco (h)	t_a	1.079
Tempo di corrivazione (h)	$t_p=t_c$	0.981

-

6 PORTATA DI PROGETTO

In ottemperanza alle Linee Guida della Progettazione indicate dalla direzione Progettazione e Realizzazione Lavori dell'ANAS, coerentemente con le Norme Tecniche di attuazione dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'appennino Meridionale le NTC 2018 si è proceduto con il calcolo della portata di progetto per un $T_r = 200$ anni.

Si è fatto dunque riferimento ai parametri della CPP $a_{200} = 80.52$ (mm/hⁿ), $n_{200} = 0.317$ (-) epr piogge con durata superoraria e $n'_{200} = 0.463$ (-) per piogge suborarie

Si riporta di seguito la tabella riepilogativa delle elaborazioni effettuate tramite metodo razionale:

Bacino	Prog.	t_c	CN II	CN III	$P(t_c)$	S	I	φ	$i(t_c)$	$Q_{200}(t_c)$
-	km	h	-	-	mm	mm	mm	-	mm/h	m ³ /s
Canale IV	0+040	2.62	45	65.3	31.14	134.98	27.0	0.30	11.90	2.34

Dove:

- t_c = tempo di corrivazione
- CN II = valore del curve number condizione media di umidità del suolo
- CN III = valore del curve number condizione umida di umidità del suolo
- $P(t_c)$ = pioggia netta per l'evento di durata t_c
- S = massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizione di saturazione
- I = perdita iniziale
- φ = coefficiente di deflusso
- $i(t_c)$ = intensità di pioggia per un $T_r=200$ anni e durata t_c
- $Q_{200}(t_c)$ = portata per un $T_r=200$ anni e durata pioggia t_c

In maniera analoga si espongono i risultati dell'applicazione dell'idrogramma triangolare del SCS:

Bacino	Prog.	t_L	t_a	$t_p = t_c$	CN II	CN III	$P(t_c)$	S	I	$Q_{200}(t_p)$
-	km	h	h	h	-	-	mm	mm	mm	m ³ /s
Canale IV	0+040	0.59	1.08	0.98	45	65.3	14.85	134.98	27.0	6.76

Dove:

- t_L = tempo di ritardo
- t_a = tempo di accumulo
- t_c = tempo di pioggia o di corrivazione
- CN II = valore del curve number condizione media di umidità del suolo

- CN III = valore del curve number condizione umida di umidità del suolo
- $P(t_p)$ = pioggia netta per l'evento di durata t_p
- S = massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizione di saturazione
- I = perdita iniziale
- $Q_{200}(t_p)$ = portata per un $Tr=200$ anni e durata pioggia t_p

Alla luce di quanto precedentemente riportato in via cautelativa si fa riferimento alla portata Q_{200} calcolata tramite modello del CN della SCS nella dizione di Mockus pari a $Q_{200}=6.76 \text{ m}^3/\text{s}$.