

POLITECNICO DI TORINO

Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

LM-23



**Politecnico
di Torino**

Tesi di Laurea Magistrale

STIME EMPIRICHE DEI COEFFICIENTI DI DEFLUSSO ANNUALI CON METODO RAZIONALE NEI BACINI ITALIANI

Relatore:

Prof. Ing. Pierluigi Claps

Correlatrice:

Ing. Giulia Evangelista

Candidata:

Claudia Ruggeri

Anno Accademico 2022 – 2023

INDICE

SOMMARIO	2
ABSTRACT	3
INDICE DELLE FIGURE	4
1. INTRODUZIONE	8
1.1 PROBLEM STATEMENT	10
1.2 OBIETTIVI E FASI DEL LAVORO	14
2. ANALISI E SELEZIONE DATI	15
2.1 RACCOLTA DATI E COSTRUZIONE DEL DATABASE DI PARTENZA	15
2.2 ANALISI DEI DATI IDROMETRICI	15
2.2.1 <i>Struttura dei dati consultati</i>	15
2.3 ANALISI DEI DATI PLUVIOMETRICI.....	22
2.3.1 <i>Struttura dei dati consultati</i>	22
3. I BACINI IDROGRAFICI ITALIANI	26
3.1 SCELTA DEI BACINI OGGETTO DI ANALISI	26
3.1.1 <i>Analisi preliminare</i>	26
3.1.2 <i>Criteri di selezione</i>	32
3.1.3 <i>Pluviometri</i>	35
3.2 MORFOMETRIA DEI BACINI SCELTI.....	39
3.3 STIMA DEI TEMPI DI CORRIVAZIONE	43
4. APPROCCI E METODOLOGIE	46
4.1 METODO DI SELEZIONE DEI DATI: CORRISPONDENZA TEMPORALE TRA PORTATE E PRECIPITAZIONI.....	46
4.1.2 <i>Selezione dei valori di precipitazione</i>	51
4.1.3 <i>Stima della precipitazione areale mediante interpolazione spaziale</i>	60
4.2 MODELLO AFFLUSSI-DEFLUSSI: METODO DELLA CORRIVAZIONE (FORMULA RAZIONALE)	65
4.3 METODO DEI VOLUMI	66
5. STIMA EMPIRICA DEI COEFFICIENTI DI DEFLUSSO	67
5.1 CALCOLO E RAPPRESENTAZIONE DEI COEFFICIENTI DI DEFLUSSO	67
CONCLUSIONI	71
BIBLIOGRAFIA	73
SITOGRAFIA	74
ALLEGATI	75
ALLEGATO 1: TABELLA RIASSUNTIVA CON LE PRINCIPALI CARATTERISTICHE ANALIZZATE DEI 198 BACINI	75
ALLEGATO 2: CRITERI DI SELEZIONE DEI BACINI	81
ALLEGATO 3: RAPPRESENTAZIONE DEI COEFFICIENTI DI DEFLUSSO.....	90

SOMMARIO

In Italia, si verificano spesso eventi alluvionali che sono localizzati sia nel tempo che nello spazio. Molti degli episodi alluvionali più gravi recenti sono stati registrati in bacini di piccole dimensioni, caratterizzati da rapide correnti di piena che rendono difficile trarre grandi benefici dal monitoraggio e dalla previsione idrometeorologica a causa dell'evoluzione rapida del fenomeno. Durante la ricostruzione degli eventi, insieme alla valutazione dei tempi di risposta del bacino, sorge la questione della caratterizzazione dell'assorbimento del terreno, spesso espressa attraverso il coefficiente di deflusso della formula razionale.

Per confrontare i valori ottenuti a scala di singolo evento con quelli utilizzati nel contesto di progettazione, sono state considerate ricostruzioni storiche su ampia scala spaziale del coefficiente di deflusso empirico.

In questo lavoro di tesi viene presentato un set di coefficienti di deflusso empirici per 51 bacini in tutta Italia, stimati utilizzando dati storici riportati negli Annali Idrologici, ovvero gli estremi annuali di portata giornaliera e gli estremi di precipitazione giornaliera e sub-giornaliera.

Il metodo scelto, atto ad essere applicato ad un'area vasta, implica l'introduzione di diverse semplificazioni nella formulazione dell'approccio proposto: i bacini indagati, per i quali sono disponibili almeno 15 anni di osservazioni, hanno un'area inferiore ai 100 km² ed una quota media inferiore ai 1000 m s.l.m.

La consultazione degli Annali ha consentito di acquisire il giorno ed il mese di registrazione dell'estremo pluviometrico e di portata e di verificarne la corrispondenza temporale, realizzando così una costruzione del database di partenza. Laddove sia verificata la corrispondenza tra l'estremo di portata giornaliera e l'estremo di precipitazione sub-giornaliera (durate di 1, 3 o 6 ore), il coefficiente di deflusso empirico è stato determinato riorganizzando la formula razionale. Qualora, invece, sia verificata la corrispondenza con l'estremo di precipitazione giornaliero, si è proceduto ad un bilanciamento dei volumi di afflusso e di deflusso.

Infine, si è analizzata la variabilità spazio-temporale dei coefficienti di deflusso empirici, indagata considerando le dimensioni del bacino, le caratteristiche morfologiche e quelle di umidità antecedente.

Questo lavoro di tesi costituisce una prima base verso una stima del coefficiente di deflusso il più possibile esente da soggettività, come tipicamente avviene nelle applicazioni tradizionali dei modelli afflussi-deflussi.

ABSTRACT

The Italian territory is often affected by extreme rainfall events that are highly localized in time and space. Numerous recent flood events have occurred in small basins, where runoff occurs rapidly, making monitoring and hydrometeorological forecasting challenging due to the fast evolution of these phenomena. When analyzing these events, together with the estimation of the basin flood response time, the issue of soil absorption characterization arises. This is often quantified through the runoff coefficient of the rational formula.

To compare the values obtained at the scale of individual events with those used in the design practice, historical values of the empirical runoff coefficient have been estimated on a large spatial scale.

This thesis presents a set of empirical runoff coefficients for 51 basins throughout Italy, estimated using historical data reported in the Hydrological Yearbooks, which include annual extreme values of daily discharge and extreme values of daily and sub-daily precipitation.

The chosen method, suitable for application over a large area, involves introducing several simplifications in the formulation of the proposed approach. The investigated basins, for which at least 15 years of observations are available, have an area of less than 100 km² and an average elevation of less than 1000 m above sea level. Consulting the Yearbooks allowed us to get the day and month of registration for extreme precipitation and discharges and check whether they were temporally matched, thus constructing the initial database.

Where correspondence was found between extreme daily discharge and extreme sub-daily precipitation (with durations of 1, 3, or 6 hours), the empirical runoff coefficient was determined by rearranging the rational formula. Otherwise, when correspondence was found with extreme daily precipitation, the water balance between inflow and outflow volumes was performed.

Finally, the spatiotemporal variability of the empirical runoff coefficients was analyzed, considering basin size, morphological characteristics, and antecedent moisture conditions.

This thesis work represents an initial foundation towards estimating the runoff coefficient as objectively as possible, overcoming the subjectivity that typically affects traditional applications of inflow-outflow models.

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1 - AREE A PERICOLOSITÀ IDRAULICA MEDIA P2 (D.LGS. 49/2010); FONTE: RAPPORTO ISPRA, 356/2021	8
FIGURA 2 - NATIONAL RIVER FLOW ARCHIVE (NFRA)	9
FIGURA 3 - eHYD (HYDROGRAPHISCHE DATEN)	9
FIGURA 4 - UFFICIO FEDERALE DELL'AMBIENTE (UFAM)	10
FIGURA 5 - EVENTO ALLUVIONALE VEZZA D'ALBA (CN), NOVEMBRE 1994	11
FIGURA 6 - VEZZA D'ALBA (CN), NOVEMBRE 1994 (FONTE: GAZZETTA D'ALBA)	11
FIGURA 7 - EVENTO ALLUVIONALE SAN MARTINO (TO), NOVEMBRE 2016	12
FIGURA 8 - EVENTO ALLUVIONALE NOVEMBRE 2016 (FONTE: TORINO REPUBBLICA).....	12
FIGURA 9 - EVENTO ALLUVIONALE BITTI (NU), NOVEMBRE 2020	13
FIGURA 10 - BITTI (NU), NOVEMBRE 2020 (FONTE: ANSA).....	13
FIGURA 11 - ESTRATTO DI SCHEDE PRIMA E DOPO IL 1926 CON MODIFICA DA BOLLETTINO MENSILE (SX) AD ANNALI IDROLOGICI (DX) – FONTE: ISPRA.....	16
FIGURA 12 - INTERFACCIA BANCA DATI ANNALI IDROLOGICI - FONTE: ISPRA.....	17
FIGURA 13 - ESTRATTO DELLA SCHEDA STAZIONE ARDA A MIGNANO (1937) – ANNALI IDROLOGICI – FONTE: ISPRA.....	17
FIGURA 14 – ESTRATTO DELLA SCHEDA STAZIONE ARDA A MIGNANO (1951) – ANNALI IDROLOGICI – FONTE: ISPRA.....	18
FIGURA 15 - ESTRATTO PARTE I DELLA SCHEDA STAZIONE ARDA A MIGNANO DEL CATALOGO DELLE PIENE DEI CORSI D'ACQUA ITALIANI – FONTE: CATALOGO DELLE PIENE DEI CORSI D'ACQUA ITALIANI (CLAPS P., D. GANORA, A. APOSTOLO, I. BRIGNOLO, I. MONFORTE, 2020)	20
FIGURA 16 – ESTRATTO PARTE II DELLA SCHEDA STAZIONE ARDA A MIGNANO DEL CATALOGO DELLE PIENE DEI CORSI D'ACQUA ITALIANI – FONTE: CATALOGO DELLE PIENE DEI CORSI D'ACQUA ITALIANI (CLAPS P., D. GANORA, A. APOSTOLO, I. BRIGNOLO, I. MONFORTE, 2020)	21
FIGURA 17 - ESTRATTO DELLA TABELLA “PRECIPITAZIONI DI MASSIMA INTENSITÀ” DEGLI ANNALI IDROLOGICI, CONTENENTE LA STAZIONE PLUVIOMETRICA "MIGNANO - DIGA" (1937) — FONTE: ISPRA	23
FIGURA 18 - ESTRATTO DELLA TABELLA “PRECIPITAZIONI METEORICHE GIORNALIERE, DECADICHE E MENSILI” DEGLI ANNALI IDROLOGICI, CONTENENTE LA STAZIONE PLUVIOMETRICA "MIGNANO - DIGA" (1937) — FONTE: ISPRA	23
FIGURA 19 - ESTRATTO DELLA TABELLA “PRECIPITAZIONI DI MASSIMA INTENSITÀ REGistrate AI PLUVIOGRAFI” DEGLI ANNALI IDROLOGICI, CONTENENTE LA STAZIONE PLUVIOMETRICA "MIGNANO - DIGA" (1951) — FONTE: ISPRA.....	24

FIGURA 20 - ESTRATTO DELLA TABELLA “OSSERVAZIONI PLUVIOMETRICHE GIORNALIERE” DEGLI ANNALI IDROLOGICI, CONTENENTE LA STAZIONE PLUVIOMETRICA "MIGNANO - DIGA" (1951) — FONTE: ISPRA	25
FIGURA 21 - ANALISI SU BACINI CON A < 100 KM ² - (198 BACINI DI 631)	26
FIGURA 22 – ESTRATTO DELLA MATRICE DI CONTEMPORANEITÀ ANNI/BACINI TRA IL 1916 E IL 2020	27
FIGURA 23 - ESTRATTO DELLA MATRICE PLUVIOMETRI ATTIVI/BACINI TRA IL 1916 E IL 2020.....	28
FIGURA 24 – BACINI RISULTATI DALL’ANALISI PRELIMINARE (NORD ITALIA)	29
FIGURA 25 - BACINI RISULTATI DALL’ANALISI PRELIMINARE (CENTRO ITALIA)	29
FIGURA 26 - BACINI RISULTATI DALL’ANALISI PRELIMINARE (SUD ITALIA E ISOLE).....	30
FIGURA 27 - BACINI RISULTATI DALL’ANALISI PRELIMINARE CON RAFFIGURATA L’AREA COMPLESSIVA (BACINO+BUFFER) - NORD ITALIA	30
FIGURA 28 - BACINI RISULTATI DALL’ANALISI PRELIMINARE CON RAFFIGURATA L’AREA COMPLESSIVA (BACINO+BUFFER) - CENTRO ITALIA.....	31
FIGURA 29 - BACINI RISULTATI DALL’ANALISI PRELIMINARE CON RAFFIGURATA L’AREA COMPLESSIVA (BACINO+BUFFER) - SUD ITALIA E ISOLE	31
FIGURA 30 - BACINI OGGETTO DI STUDIO (NORD ITALIA)	34
FIGURA 31 - BACINI OGGETTO DI STUDIO (CENTRO ITALIA)	34
FIGURA 32 – BACINI OGGETTO DI STUDIO (SUD ITALIA E ISOLE)	35
FIGURA 33 - BACINI RISULTATI DALL’ANALISI PRELIMINARE E PLUVIOMETRI ITALIANI (NORD ITALIA)	37
FIGURA 34 - BACINI RISULTATI DALL’ANALISI PRELIMINARE E PLUVIOMETRI ITALIANI (CENTRO ITALIA) ...	37
FIGURA 35 - BACINI RISULTATI DALL’ANALISI PRELIMINARE E PLUVIOMETRI ITALIANI (SUD ITALIA E ISOLE)	38
FIGURA 36 - SCHEMATIZZAZIONE DI UN BACINO IDROGRAFICO	39
FIGURA 37 - ESTRATTO PARTE I DELLA SCHEDA STAZIONE “AVETO A CABANNE” DEL CATALOGO DELLE PIENE DEI CORSI D’ACQUA ITALIANI – FONTE: CATALOGO DELLE PIENE DEI CORSI D’ACQUA ITALIANI (CLAPS P., D. GANORA, A. APOSTOLO, I. BRIGNOLO, I. MONFORTE, 2020)	42
FIGURA 38 - PROCEDURA DI VALUTAZIONE DELLE CORRISPONDENZE PORTATE-PRECIPITAZIONI.....	46
FIGURA 39 - ESEMPIO DI RICERCA DELLA DATA DELLA PORTATA AL COLMO DI PIENA PER UNO DEI BACINI OGGETTO DI STUDIO.	47
FIGURA 40 – ESEMPIO DI INTERPOLAZIONE IDW: IL VALORE AL PUNTO PX, INTERNO AL DOMINIO DI PUNTI NOTI, SARÀ CALCOLATO PESANDO I VALORI DEI PUNTI ADIACENTI P1-P2 P3 IN BASE ALLA DISTANZA DA PX IL VALORE AL PUNTO PX.....	60
FIGURA 41 - PROCEDIMENTO DI CALCOLO DEI COEFFICIENTI DI DEFLUSSO.	67
FIGURA 42 - CALCOLO COEFFICIENTI DI DEFLUSSO - BACINO A008	68
FIGURA 43 - SINTESI DEI RISULTATI OTTENUTI	69

INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 1 – ESTRATTO DELLA TABELLA IN ALLEGATO 1 CONTENENTE I PRIMI 10 DEI 198 BACINI OGGETTO DI STUDIO.....	28
TABELLA 2 - ESTRATTO DELLA TABELLA IN ALLEGATO 2 CONTENENTE I PRIMI 10 DEI 198 BACINI OGGETTO DI STUDIO.....	32
TABELLA 3 - ESTRATTO DELLA TABELLA IN ALLEGATO 2 CONTENENTE I PRIMI 10 DEI 94 BACINI OGGETTO DI STUDIO.....	32
TABELLA 4 - I 51 BACINI RISULTATI DELL'ANALISI.....	34
TABELLA 5 - I 51 BACINI RISULTATI DELL'ANALISI CON IL RISPETTIVO NUMERO DI PLUVIOMETRI ATTIVI.....	36
TABELLA 6 - ESTRATTO DELLA TABELLA CONTENENTE LE INFORMAZIONI SUI PLUVIOMETRI ATTIVI PER BACINO.	38
TABELLA 7 - CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE BACINI	41
TABELLA 8 - TEMPI DI CORRIVAZIONE DEI BACINI OGGETTO DI STUDIO	44
TABELLA 9 - DURATA DI RIFERIMENTO DEGLI EVENTI METEORICI DI MASSIMA INTENSITÀ (PARI A 1, 3 E 6 ORE)	45
TABELLA 10 - VALORI DI PORTATA MASSIMA GIORNALIERA E DELLE RELATIVE DATE.	48
TABELLA 11 - VALORI DI PORTATA MASSIMA GIORNALIERA E DELLE RELATIVE DATE - ESEMPIO VALORE DI PORTATA ERRATO E SEGNALATO.....	49
TABELLA 12 - VALORI DI PORTATA MASSIMA GIORNALIERA E DELLE RELATIVE DATE - ESEMPIO MANCANZA DATE E/O VALORI: ANNI SCARTATI.....	49
TABELLA 13 - I 45 BACINI OGGETTO DI STUDIO DEL PRESENTE ELABORATO CON CUI PROSEGUIRANNO LE ANALISI.....	51
TABELLA 14 - PLUVIOMETRI ATTIVI EFFETTIVI NEGLI ANNI DI INTERESSE PER IL BACINO A008.....	51
TABELLA 15 - PLUVIOMETRI ATTIVI EFFETTIVI NEGLI ANNI DI INTERESSE PER IL BACINO A010.....	52
TABELLA 16 - PLUVIOMETRI ATTIVI EFFETTIVI NEGLI ANNI DI INTERESSE PER IL BACINO A014.....	52
TABELLA 17 - PLUVIOMETRI ATTIVI EFFETTIVI NEGLI ANNI DI INTERESSE PER IL BACINO A019.....	52
TABELLA 18 - PLUVIOMETRI ATTIVI EFFETTIVI NEGLI ANNI DI INTERESSE PER IL BACINO A064.....	53
TABELLA 19 - PLUVIOMETRI ATTIVI EFFETTIVI NEGLI ANNI DI INTERESSE PER IL BACINO A173.....	53
TABELLA 20 - PLUVIOMETRI ATTIVI EFFETTIVI NEGLI ANNI DI INTERESSE PER IL BACINO A190.....	53
TABELLA 21 - PLUVIOMETRI ATTIVI EFFETTIVI NEGLI ANNI DI INTERESSE DEI 45 BACINI	54
TABELLA 22 - APPLICAZIONE DEI BUFFER E SELEZIONE DEL N° DEI PLUVIOMETRI PER BACINO.....	55
TABELLA 23 - ESTRATTO TABELLA PRECIPITAZIONI SUB-GIORNALIERE E CORRISPONDENZA TEMPORALE EVENTI - A008	57
TABELLA 24 - ESTRATTO TABELLA PRECIPITAZIONI SUB-GIORNALIERE E CORRISPONDENZA TEMPORALE EVENTI - A010	57

TABELLA 25 - ESTRATTO TABELLA PRECIPITAZIONI MASSIME GIORNALIERE E ANTECEDENTI LA DATA DELLA PORTATA MASSIMA GIORNALIERA - A008.....	58
TABELLA 26 - ESTRATTO TABELLA PRECIPITAZIONI MASSIME GIORNALIERE E ANTECEDENTI LA DATA DELLA PORTATA MASSIMA GIORNALIERA - A010.....	59
TABELLA 27 - ESEMPIO DI INTERPOLAZIONE CON METODO IDW.....	61
TABELLA 28 – ESTRATTO DELLA TABELLA CONTENENTE IL DATABASE OTTENUTO PER IL CALCOLO DEI COEFFICIENTI DI DEFLUSSO – A008.....	62
TABELLA 29 - ESTRATTO DELLA TABELLA CONTENENTE IL DATABASE OTTENUTO PER IL CALCOLO DEI COEFFICIENTI DI DEFLUSSO – A010.....	62
TABELLA 30 – NUMERO DI ANNI TOTALI (E PER CIASCUN BACINO) DI CORRISPONDENZA TEMPORALE DAL 1929 AL 1996.....	63
TABELLA 31 - RISULTATI DEI VALORI DI PRECIPITAZIONE OTTENUTI PER CIASCUN BACINO E DIVISI IN BASE AL TIPO DI PRECIPITAZIONE.....	64
TABELLA 8 - CARATTERISTICHE RIASSUNTIVE DEI 198 BACINI.....	81

1. INTRODUZIONE

Le sempre maggiori intensità e frequenze con le quali gli eventi di precipitazioni intense innescano inondazioni improvvise e catastrofiche sono una delle cause dell'elevata vulnerabilità del territorio italiano. Secondo l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), il 4,1% del territorio italiano è caratterizzato da un'alta probabilità di inondazione (periodo di ritorno di 20-50 anni), l'8,4% da uno scenario di media probabilità (periodo di ritorno di 100-200 anni) e il 10,9% da uno scenario di bassa probabilità.

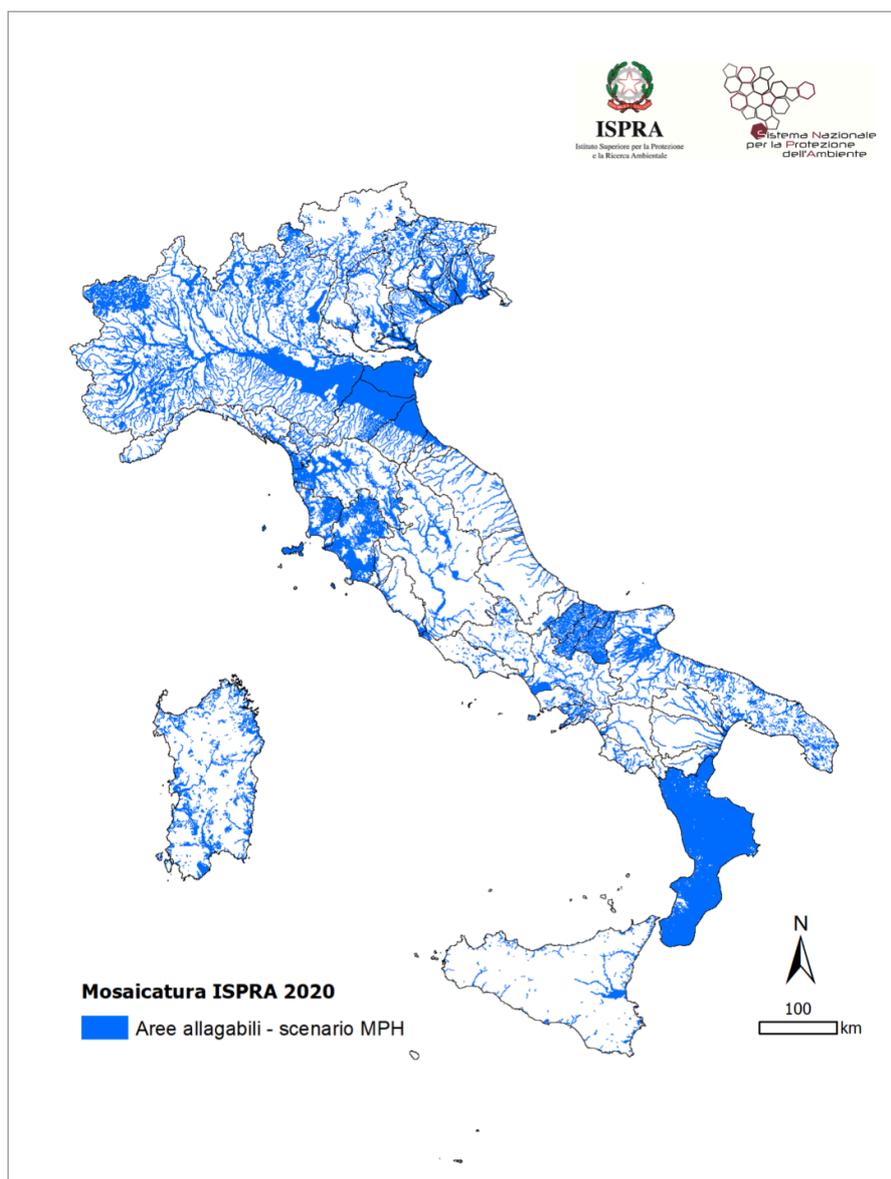


Figura 1 - Aree a pericolosità idraulica media P2 (D.Lgs. 49/2010); Fonte: Rapporto ISPRA, 356/2021

I numerosi episodi alluvionali verificatisi recentemente sono con ogni probabilità collegati ai cambiamenti climatici, i cui effetti si riverberano sull'equilibrio dinamico del sistema climatico globale, alterandone le ciclicità e determinando effetti a catena la cui portata è difficile da prevedere e controllare.

In particolare, questi sono stati registrati per lo più in bacini di piccole dimensioni, dove il deflusso avviene rapidamente e per i quali il monitoraggio e la previsione idrometeorologica risultano essere difficoltosi.

Il problema dell'incertezza nella calibrazione delle metodologie utilizzate per la stima delle inondazioni e nella stima delle piene non riguarda solo l'Italia, ma anche altri stati europei, come ad esempio il Regno Unito, la Svizzera e l'Austria. Sfortunatamente, in Italia, a seguito della dismissione del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale, con il passaggio delle competenze alle Regioni, si sono verificate importanti discontinuità nelle osservazioni idrologiche. Inoltre, la consistenza temporale dei dati è risultata molto variabile, dovuta a varie cause, come la disattivazione, lo spostamento e l'incremento del numero di stazioni pluviometriche, che ha portato a una scarsità di dati completi ed omogenei per l'intero Paese.

A differenza dell'Italia, in altri paesi come il Regno Unito, la Svizzera e l'Austria, la raccolta dei dati idrologici non presenta le stesse problematiche. Nel Regno Unito il National River Flow Archive (NFRA) è l'ente che raccoglie, controlla la qualità e archivia i dati idrometrici dalle reti di stazioni di misurazione diffuse in tutto il paese. In particolare, i dati forniti dal NRFA sono dati giornalieri, mensili e i picchi di piena dei fiumi da oltre 1500 stazioni di misura del paese, ma comprendono anche i totali delle precipitazioni del bacino idrografico, derivati dai dati del Met Office (servizio meteorologico nazionale per il Regno Unito), e vari set di dati spaziali (ad esempio dati digitali sull'elevazione, copertura del suolo, geologia e idrogeologia), sviluppati dal UK Centre for Ecology & Hydrology (UKCEH) e dal British Geological Survey (BGS).



Figura 2 - National River Flow Archive (NFRA)

In Austria la rete di base per il monitoraggio delle portate è gestita dal Servizio Idrografico, che si occupa della realizzazione e gestione di un archivio contenente dati idrologici misurati. La possibilità di accedere a tali dati è garantita attraverso il portale eHYD (Hydrographische Daten), all'interno del quale un applicativo WebGIS riporta tutte le stazioni di misura presenti sul territorio e le corrispondenti serie storiche dei valori di portata mensile dalla prima pubblicazione elettronica fino all'ultimo annuario idrologico pubblicato.

Per quanto riguarda, i dati sulle precipitazioni e i dati idrometrici sono disponibili anche nel database dell'Università Tecnica di Vienna, accademia politecnica della capitale austriaca, che contiene dati provenienti da più di 400 stazioni, dove sono presenti tutti i pluviometri e le stazioni idrometriche all'interno dei confini austriaci. La maggior parte di essi registrano dati orari per i pluviometri e dati di ogni 15 min per le stazioni idrometriche.

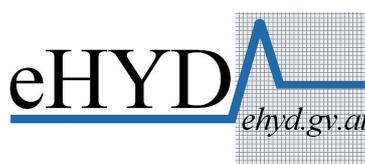


Figura 3 - eHYD (Hydrographische Daten)

Infine, i dati idrologici in Svizzera sono messi a disposizione dall'Ufficio Federale dell'Ambiente (UFAM) sul portale "Dati idrologici e previsioni". Tramite tale portale è possibile avere accesso ai dati idrologici e climatici raccolti dall'estesa rete di stazioni di misura presenti sul territorio e a dati di previsione delle portate. A differenza del caso austriaco e britannico, tuttavia, le serie storiche di portata al colmo di piena non sono disponibili in formato digitale, ma sono riportate su istogrammi.



Figura 4 - Ufficio Federale dell'Ambiente (UFAM)

Lo scopo di questa tesi è digitalizzare i dati storici italiani, recuperando le misurazioni dagli Annali Idrologici, per produrre un set di dati coerente. Inoltre, mira a stimare i coefficienti di deflusso annuali dei bacini italiani in modo il più possibile oggettivo, riducendo l'incertezza tipica delle applicazioni tradizionali dei modelli afflussi-deflussi.

1.1 PROBLEM STATEMENT

Il presente caso di studio è basato su una precedente analisi in cui si sono evidenziati due fattori fondamentali, a seguito di eventi alluvionali verificatisi nel corso degli ultimi trent'anni, come ad esempio a Vezza d'Alba (CN) nel novembre 1994, a San Martino (TO) nel novembre 2016 e a Bitti (NU) nel novembre 2020:

- Periodi di ritorno ridotti per le durate di interesse ($d < 1$ ora), ma con effetti significativi.
- Massimi di evento per le durate di interesse registrati al termine dell'evento. Ad esempio, a Bitti (NU) erano piovuti già 400 mm circa: verosimilmente si era verificato un coefficiente di deflusso $C \cong 1$.

Nelle sezioni seguenti, verranno esaminati i bacini di Vezza d'Alba (CN), San Martino (TO) e Bitti (NU), illustrando i massimi eventi critici in ciascun caso.

- Vezza d'Alba (CN) – Novembre 1994

*“Dall'esame delle precipitazioni verificatesi sulla parte piemontese del bacino nelle giornate dal 4 al 6 novembre risultano valori molto elevati e distribuiti su tutto il territorio; piogge particolarmente intense hanno interessato le parti montane dei bacini idrografici di quasi tutti i corsi d'acqua del Piemonte. La diffusione di piogge di grande entità e di lunga durata, progressivamente estese a tutto il territorio regionale, ha determinato **elevatissimi coefficienti di deflusso**, mettendo in uno stato di grave crisi tutto il reticolo idrografico drenante delle fasce di territorio a quote, medio-basse, con numerose esondazioni e vasti allagamenti.”* (Fonte: Gazzetta Ufficiale del 31-07-1995, serie generale n° 177 all.1 art.1).

L'evento fu caratterizzato attraverso tre fasi ed ha riguardato diverse aree territoriali, in particolare, nella seconda fase, giorno 5 novembre 1994, le precipitazioni colpirono le zone dell'Astignano e del Cuneese e in molte località nei bacini del Tanaro, del Bormida e del Belbo furono superati i 200 mm di pioggia in 24 ore.

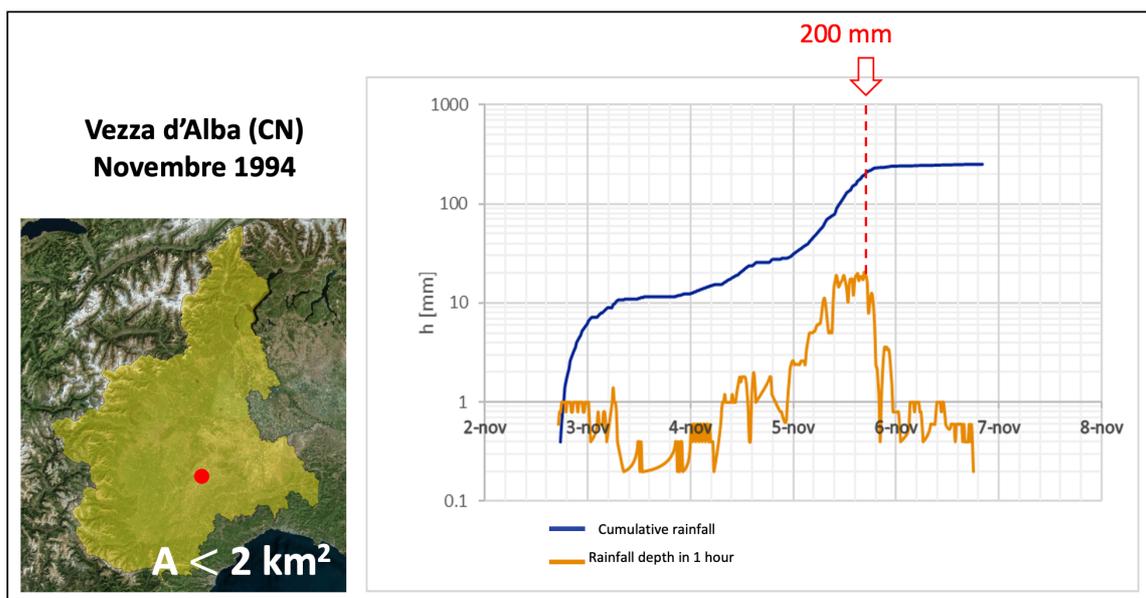


Figura 5 - Evento alluvionale Vezza d'Alba (CN), Novembre 1994



Figura 6 - Vezza d'Alba (CN), Novembre 1994 (Fonte: Gazzetta d'Alba).

- San Martino (TO) – Novembre 2016

Nell'ultima decade del mese di novembre 2016, l'intera regione Piemonte è stata interessata da precipitazioni forti e persistenti tra il 21 e il 25 novembre con particolare insistenza, inizialmente, nel cuneese ed alessandrino al confine con la Liguria, e successivamente, il 22 e 23 novembre, nelle zone del vercellese, biellese e alto torinese. Le precipitazioni più intense di tutto l'evento sono state registrate il 24 sul settore occidentale e ancora al confine con la Liguria nell'alta val Tanaro. Durante la giornata del 25 le precipitazioni hanno ulteriormente coinvolto il torinese e l'alta provincia di Cuneo. Le precipitazioni cadute nel corso dell'evento hanno generato

significativi incrementi di livello dei corsi d'acqua del reticolo idrografico piemontese, in particolare a San Martino furono superati i 270 mm di pioggia in 24 ore.

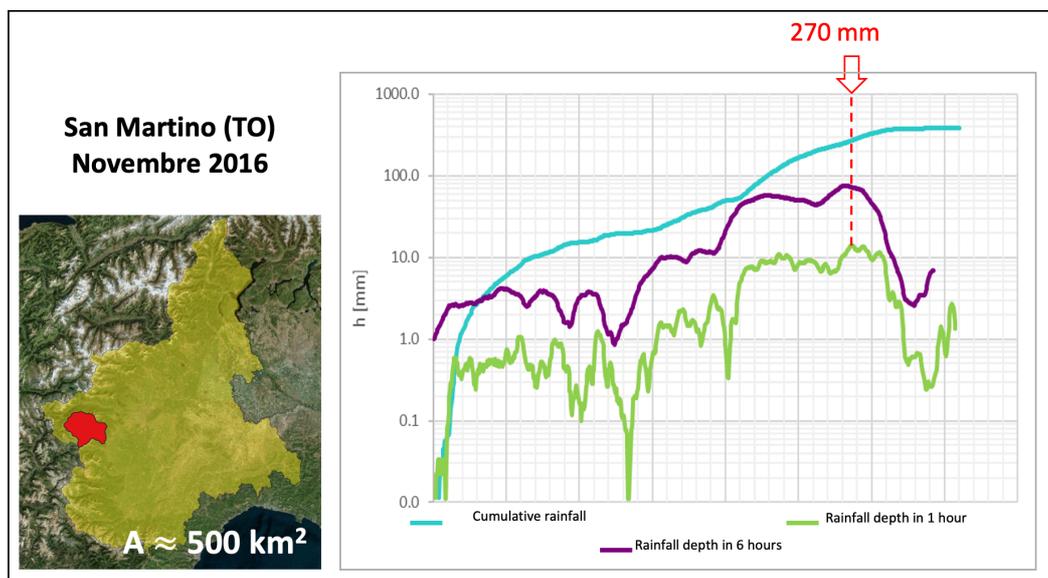


Figura 7 - Evento alluvionale San Martino (TO), Novembre 2016



Figura 8 - Evento alluvionale Novembre 2016 (Fonte: Torino Repubblica)

- Bitti (NU) – Novembre 2020

Nel periodo 27-29 novembre 2020 la Sardegna è stata interessata da una perturbazione che ha prodotto intense precipitazioni, investendo in particolar modo la provincia di Nuoro, il basso oristanese e il medio Campidano. Le piogge torrenziali si sono localizzate principalmente nelle zone interne della provincia di Nuoro. Le cumulate di pioggia più elevate sono state registrate nella giornata di sabato 28 novembre ai pluviometri di Oliena (500,6 mm), Dorgali Filitta (446,4 mm) e Bitti (328,6 mm). Nel caso di Bitti, come in parte osservato in *Stima multi-modello della severità di un evento alluvionale: il caso di Bitti* (Mazzoglio, P., Volpini, G.,

Deidda, R. and Claps, P., 2022) l'anomalia è rappresentata dall'effetto della forma del pluviogramma sul coefficiente di deflusso finale del bacino.

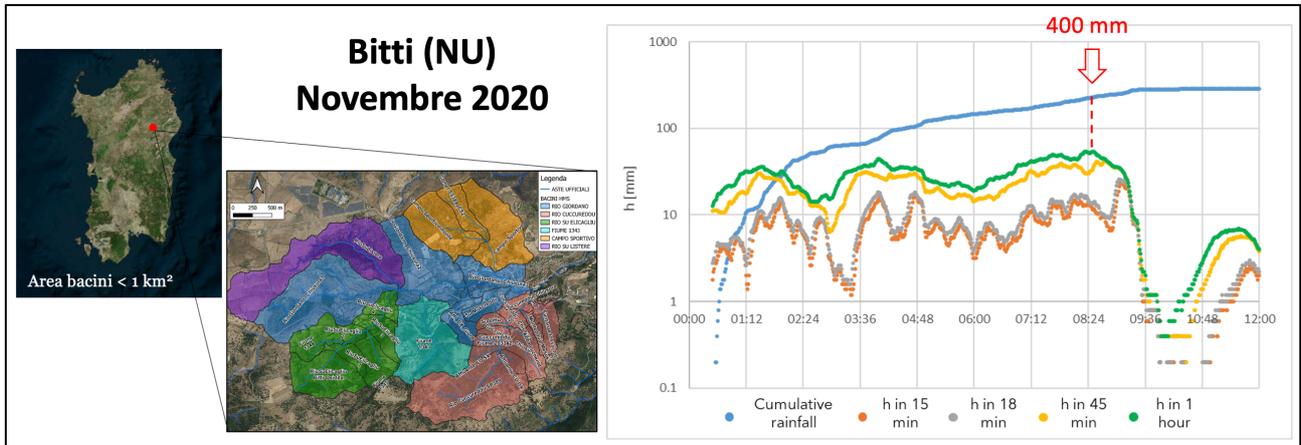


Figura 9 - Evento alluvionale Bitti (NU), Novembre 2020



Figura 10 - Bitti (NU), Novembre 2020 (Fonte: ANSA).

In conclusione, alla luce dei fattori fondamentali emersi dai casi studio sopra menzionati, è stata presa la decisione di estendere la ricerca ai bacini italiani elencati nel *Catalogo delle piene dei corsi d'acqua italiani* (Claps P., D. Ganora, A. Apostolo, I. Brignolo, I. Monforte, 2020) e di condurre una stima empirica dei coefficienti di deflusso utilizzando il metodo della corrivazione (formula razionale). Questo approccio mira a ottenere dati il più possibile esenti da soggettività e, di conseguenza, a fornire informazioni più dettagliate sui bacini presenti sul territorio italiano. In un secondo momento, a causa del grande numero di bacini presi in considerazione, sono state adottate alcune semplificazioni per ridurre il numero di casi di studio. Tuttavia, la spiegazione dettagliata di queste semplificazioni verrà fornita nel Capitolo 3 di questo lavoro di tesi.

1.2 OBIETTIVI E FASI DEL LAVORO

In aggiunta a questa introduzione, il lavoro è suddiviso in quattro capitoli, ognuno dei quali tratta gli argomenti seguenti:

Capitolo 2:

In questo capitolo, vengono presentate le strutture dei dati consultati e utilizzati per la ricerca, suddivise in base alla fonte. Vengono quindi descritte le operazioni necessarie per costruire la base di dati idrometrica e pluviometrica, che comprende informazioni sulle portate massime giornaliere, precipitazioni di massima intensità e precipitazioni massime giornaliere.

Capitolo 3:

Questo capitolo espone i criteri adottati per la selezione dei bacini oggetto di studio. In seguito, vengono analizzate le caratteristiche morfometriche di tali bacini e vengono stimati i tempi di corrivazione.

Capitolo 4:

Questo capitolo dettaglia le metodologie utilizzate per selezionare i dati. In particolare, vengono spiegate le procedure per valutare le corrispondenze temporali tra le portate massime giornaliere e le precipitazioni sub-giornaliere di massima intensità, o in base ai casi le precipitazioni massime giornaliere o le cumulate nei 10 giorni antecedenti all'evento di portata massima giornaliera. Viene anche presentato il metodo di stima della precipitazione areale mediante interpolazione spaziale (metodo IDW) e i metodi utilizzati per calcolare i coefficienti di deflusso (metodo della corrivazione con formula razionale e metodo dei volumi).

Capitolo 5:

In questo capitolo, vengono calcolati i coefficienti di deflusso utilizzando le metodologie precedentemente illustrate e se ne commentano i risultati.

2. ANALISI E SELEZIONE DATI

2.1 RACCOLTA DATI E COSTRUZIONE DEL DATABASE DI PARTENZA

Al fine di porre le basi per una adeguata ed accurata analisi, di qualsiasi tipologia si tratti, è di fondamentale importanza la presenza di una base dati consistente, corretta e aggiornata. Trattandosi in questo caso dello studio di eventi estremi, si rende fondamentale la consultazione dei dati storici disponibili, in quanto possibili indicatori di eventi estremi avvenuti in passato. In questa sede si tratteranno dati relativi a piccoli bacini italiani, ma le considerazioni fatte possono essere estese per qualsiasi altro bacino.

2.2 ANALISI DEI DATI IDROMETRICI

2.2.1 Struttura dei dati consultati

La tipologia di dati in questione fa riferimento alle portate massime giornaliere: la motivazione della scelta di tale dato risiede sia nella sua maggiore disponibilità, che contribuisce ad avere un campione con numerosità più elevata rispetto al dato di portata al colmo e sia nella disponibilità di riferimenti puntuali nel tempo, cioè la data (giorno, mese e anno) in cui sono state registrate, che nei dati di portata al colmo risultavano molto più esigui. La costruzione della base di dati di portate massime giornaliere si fonda su due tipologie di pubblicazioni differenti, ma interconnesse: gli *Annali Idrologici* (Fonte: ISPRA) e il *Catalogo delle piene dei corsi d'acqua italiani* (Claps P., D. Ganora, A. Apostolo, I. Brignolo, I. Monforte, 2020). Avendo a disposizione i dati più recenti pubblicati in quest'ultimo, si è scelto di utilizzare tale base dati come punto di partenza per la costruzione del database di portate massime giornaliere, dopodiché si è effettuato un confronto accurato di tali dati con quelli provenienti dagli Annali Idrologici, così da correggere eventuali errori e aggiungere i dati mancanti. Infine, cosa più importante, la consultazione degli Annali Idrologici ha consentito di acquisire il giorno ed il mese di registrazione dell'estremo di portata, assenti nel Catalogo delle piene dei corsi d'acqua italiani, e dell'estremo pluviometrico che hanno permesso di verificarne la corrispondenza temporale, realizzando così una costruzione del database di partenza.

In seguito, si riporta, a titolo di esempio, la struttura dei dati per ciascuna delle fonti sopra elencate.

2.2.1.1 Annali Idrologici

Gli Annali Idrologici sono stati pubblicati annualmente dal SIMN (*Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale*) fino al 1991. Già nel 1918 venivano pubblicati periodicamente nei Bollettini Idrografici i dati relativi alle osservazioni pluviometriche e idrometriche, riportati in tabelle mensili in cui le stazioni di misura, ordinate secondo la rispettiva posizione idrografica, erano raggruppate per bacini principali ossia quelli con foce a mare.

A partire dal 1921 furono, poi, divisi in due fascicoli separati:

- Parte I (Osservazioni), che riporta osservazioni termometriche, pluviometriche, idrometriche e freaticometriche eseguite nelle singole stazioni di misura.

- Parte II (Elaborazioni e Studi), che contiene una serie di elaborazioni delle osservazioni contenute in Parte I, tra cui:
 - Valori riassuntivi delle temperature (massime e minime giornaliere, medie mensili)
 - Valori riassuntivi delle precipitazioni (massimi orari e giornalieri, aggregati mensili e annui)
 - Carta delle piogge e corrispondenti valori di afflusso meteorico
 - Informazioni su precipitazioni di carattere nevoso
 - Misure di portata, bilanci idrologici annuali e curva di durata delle portate
 - Considerazioni su caratteri idrologici dell'annata

Nel corso degli anni, in particolare dal 1926, vi furono ulteriori integrazioni e modifiche, tra cui il nome che passò da Bollettini Idrografici a quello di Annali Idrologici.

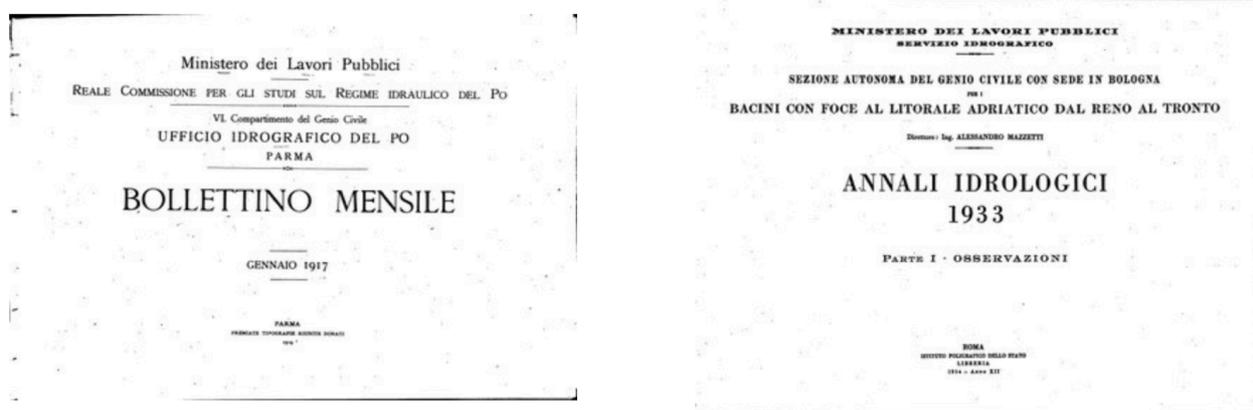


Figura 11 - Estratto di schede prima e dopo il 1926 con modifica da Bollettino Mensile (sx) ad Annali Idrologici (dx) – Fonte: ISPRA

A partire dal 1951, inoltre, la struttura dei dati pubblicati venne modificata pur restando divisa in due parti:

- Parte I, che riporta dati ed elaborazioni di termometria (Sezione A) e di pluviometria (Sezione B).
- Parte II, contenente dati ed elaborazioni riguardanti gli afflussi meteorici (Sezione A), l'idrometria (Sezione B), le portate e i bilanci idrologici (Sezione C), la freatimetria (Sezione D), il trasporto solido (Sezione E), indagini e studi idrologici riguardanti eventi significativi (Sezione F).

Focalizzando l'attenzione sui dati idrometrici, si nota come questi fossero pubblicati attraverso le *schede stazione*, andando quindi a dedicare una pagina per ogni stazione idrometrica presente. Negli Annali Idrologici precedenti il 1951 si nota come tali schede siano provviste della localizzazione della stazione in planimetria e della sezione del corso d'acqua in esame nel punto di stazione, caratteristica mancante negli Annali Idrologici successivi al 1951.

Oggi questi dati sono disponibili in formato digitale grazie al "Progetto Annali", iniziato nel dicembre 2003 e terminato a settembre 2012, che prevedeva l'informatizzazione del contenuto integrale degli Annali Idrologici pubblicati da tutti i compartimenti periferici del SIMN, dagli Uffici Idrografici regionali di Palermo e Cagliari

e da quelli delle province autonome di Trento e di Bolzano, attraverso la scansione delle pagine degli Annali Idrologici, la restituzione in formato digitale e l'inserimento in un database relazionale, con conseguente diffusione all'interno del portale ISPRA (*Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale*) attraverso una web-application.



Figura 12 - Interfaccia banca dati Annali Idrologici - FONTE: ISPRA

In seguito, si riporta, a titolo di esempio, uno stralcio della scheda stazione riguardante il bacino idrografico “Arda a Mignano” degli anni 1937 e 1951, per cui è possibile notare la differenza di rappresentazione.

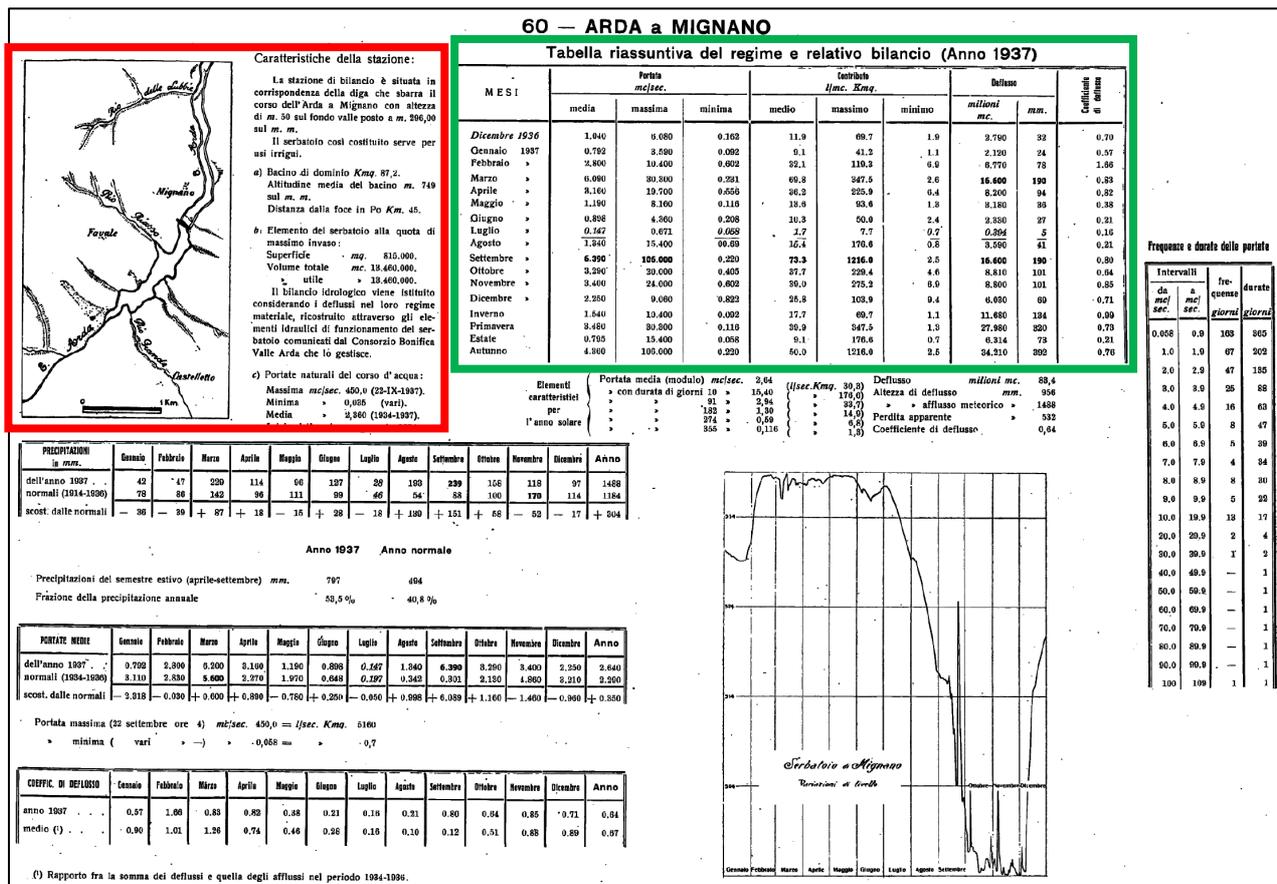


Figura 13 - Estratto della scheda stazione Arda a Mignano (1937) – Annali Idrologici – Fonte: ISPRA

49. — ARDA a MIGNANO (diga del serbatoio) (I)

CARATTERISTICHE DELLA STAZIONE: Bacino di dominio km² 87,2; serbatoio artif. (cap. utile 13,5 x 10⁶ m³) uso irriguo; altitudine max 1355 m s. m. (M. Menegosa); media 749 m s. m.; distanza dalla confluenza col Po km 45 circa. Portata max m³/s 450 (22 set. 1937); minima m³/s 0,020 (vari agosto 1942); media (1937-51) m³/s 1,67.

PORTATE MEDIE GIORNALIERE in m³/s

GIORNO	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
1	1.420	3.670	2.830	2.750	0.400	0.451	0.395	0.050	0.040	5.080	2.940	1.030
2	1.180	3.400	1.500	2.250	1.120	0.431	0.297	0.050	0.040	1.560	1.390	0.914
3	1.500	3.100	1.850	2.150	3.020	0.600	0.200	0.050	0.048	0.795	0.970	1.160
4	1.530	3.130	1.890	2.050	2.860	0.500	0.160	0.050	0.048	0.430	1.540	1.800
5	1.390	39.100	1.450	1.530	1.270	0.370	0.160	0.050	0.048	0.351	0.879	1.650
6	1.390	22.700	1.610	1.140	0.725	0.350	0.263	0.050	0.048	0.294	0.815	1.030
7	1.390	11.800	1.450	1.350	0.772	0.330	0.120	0.050	0.048	0.212	0.790	2.110
8	2.610	7.930	4.020	1.350	2.020	0.320	0.140	0.073	0.048	0.170	37.300	2.350
9	3.630	6.380	7.490	1.510	1.970	0.300	0.140	0.070	0.050	0.186	21.300	1.970
10	3.010	6.590	5.200	1.450	9.740	0.280	0.110	0.070	0.050	0.178	15.500	1.110
11	2.480	14.500	3.650	1.450	5.450	0.310	0.100	0.060	0.050	0.160	12.800	1.100
12	7.460	35.400	9.450	3.500	1.750	0.260	0.090	0.050	0.050	0.140	44.200	0.784
13	14.000	28.400	8.370	3.100	1.260	0.229	0.090	0.050	0.050	0.131	8.580	0.780
14	5.580	12.200	29.900	2.640	4.490	0.220	0.080	0.045	0.050	0.130	4.540	0.749
15	3.780	9.590	7.230	2.340	3.730	0.210	0.080	0.045	0.050	0.114	3.230	0.790
16	3.370	5.540	5.950	1.750	2.460	0.388	0.170	0.140	0.050	0.110	2.420	0.580
17	2.640	3.890	4.910	1.660	2.510	0.455	0.550	0.081	0.050	0.110	1.900	0.477
18	1.820	4.210	5.870	1.350	3.030	0.392	0.133	0.060	0.070	0.110	1.600	0.576
19	2.240	5.100	9.180	1.100	2.470	0.314	0.100	0.050	0.057	0.130	9.760	0.600
20	2.000	3.700	5.410	1.150	23.200	0.350	0.090	0.045	0.052	0.130	15.100	0.544
21	4.620	7.140	3.370	1.100	4.750	0.343	0.090	0.045	0.047	0.120	3.920	0.520
22	4.680	5.170	2.990	1.000	2.590	0.287	0.100	0.050	0.041	0.127	3.670	0.519
23	4.140	3.440	2.240	0.950	2.030	0.220	0.120	0.050	0.040	1.260	9.070	0.502
24	5.120	3.360	2.790	0.870	1.500	0.180	0.170	0.045	0.041	4.180	3.740	0.412
25	33.600	4.870	2.350	0.870	1.050	0.150	0.080	0.045	0.044	14.000	2.450	0.330
26	10.200	5.110	2.080	0.854	0.850	0.140	0.070	0.055	0.074	10.900	2.320	1.050
27	4.370	3.650	1.890	0.603	0.850	0.130	0.060	0.050	0.070	2.170	1.790	2.200
28	9.360	3.480	2.360	0.532	0.789	0.120	0.060	0.045	0.060	1.450	1.450	4.400
29	14.700		1.500	0.471	0.563	0.200	0.050	0.045	0.279	0.818	1.210	3.100
30	6.490		2.430	0.400	0.502	0.200	0.050	0.040	4.250	0.550	1.020	1.530
31	4.600		3.130		0.411		0.050	0.040		1.650		1.180

ELEMENTI CARATTERISTICI PER L'ANNO 1951

	ANNO	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settem.	Ottobre	Novem.	Dicemb.
Q max (m ³ /s)	44.20	33.60	39.10	29.90	3.50	23.20	0.60	0.55	0.14	4.25	14.00	44.20	4.40
Q media (m ³ /s)	2.85	5.37	9.52	4.72	1.51	2.91	0.30	0.14	0.06	0.20	1.54	7.27	1.22
Q minima (m ³ /s)	0.04	1.18	3.10	1.45	0.40	0.40	0.12	0.05	0.04	0.04	0.11	0.79	0.33
Q med. (l/s. km ²)	32.7	61.6	109.2	54.1	17.3	33.4	3.4	1.6	0.7	2.3	17.7	83.4	14.0
Deflusso (mm)	1030	165	264	145	45.	89	9	4	2	6	47	216	38
Afflus. meteor. (mm)	1479	203	208	120	22	158	26	94	18	100	183	287	60
Coeffic. di deflusso	0.70	0.81	1.27	1.21	2.04	0.56	0.35	0.04	0.11	0.06	0.26	0.75	0.63

ELEMENTI CARATTERISTICI PER IL PERIODO 1937-1950

Q max (m ³ /s)	106.00	37.50	31.70	30.30	47.70	58.40	16.90	2.03	15.40	106.00	35.00	28.70	28.80
Q media (m ³ /s)	1.59	1.75	2.48	3.40	2.02	2.36	0.54	0.14	0.23	0.84	1.37	2.10	1.90
Q minima (m ³ /s)	0.02	0.09	0.10	0.10	0.12	0.07	0.05	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05
Q med. (l/s. km ²)	18.2	20.1	28.4	39.0	23.2	27.1	6.2	1.6	2.6	9.6	15.7	24.1	21.8
Deflusso (mm)	581	54	69	104	60	72	19	4	7	25	42	63	62
Afflus. meteor. (mm)	1009	72	63	78	85	114	60	39	66	102	128	118	84
Coeffic. di deflusso	0.58	0.74	1.10	1.33	0.72	0.63	0.31	0.11	0.10	0.25	0.33	0.53	0.73

DURATA DELLE PORTATE

Giorni	1951	1937-1950
	m ³ /s	m ³ /s
10	21.30	10.40
91	3.02	1.50
182	1.05	0.43
274	0.14	0.13
355	0.04	0.04

(1) Il bilancio idrologico viene istituito considerando i deflussi nel loro regime naturale ricostruito attraverso gli elementi idraulici di funzionamento del serbatoio.

Figura 14 — Estratto della scheda stazione Arda a Mignano (1951) — Annali Idrologici — Fonte: ISPRA

2.2.1.2 Catalogo delle piene dei corsi d'acqua italiani

Il Catalogo delle piene dei corsi d'acqua italiani, pubblicato in tre volumi, “*riporta il primo quadro conoscitivo completo di quanto raccolto dai servizi idrografici italiani, nazionali e regionali, a partire dagli anni '20, in riferimento alle portate di piena massime e annuali.*”

Fino agli anni '70 i dati riflettono, in gran parte, quanto riportato nelle pubblicazioni n.17 del Servizio Idrografico Italiano (poi Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale).

Negli anni successivi, fino al 2015, i dati sono stati raccolti dai servizi regionali e da enti gestori di dighe, in parte ripubblicati dopo revisione con la collaborazione delle Università. Sono state complessivamente censiti i dati di 632 stazioni di misura, i tre volumi sono suddivisi secondo gruppi di Distretti Idrografici, mentre le pagine iniziali e le appendici sono comuni.

Nel Volume I sono riportate le schede stazione comprese nel Distretto Idrografico Padano (Compartimenti SIMN di Parma e Bologna), nel Volume II sono riportate le schede stazione comprese nel Distretto idrografico Alpi Orientali (Compartimento SIMN di Venezia), nel Distretto idrografico Appennino Settentrionale (Compartimento SIMN di Genova e Pisa) e nel Distretto idrografico Appennino Centrale (Compartimenti SIMN di Bologna (parziale), Roma e Pescara (parziale)), infine, nel Volume III sono riportate le schede stazione comprese nel Distretto idrografico Appennino Meridionale (Compartimenti SIMN di Pescara (parziale), Napoli, Bari e Catanzaro) e nel Distretto idrografico Isole Maggiori (Compartimenti SIMN di Palermo e Cagliari).

Ogni volume propone una struttura comune, costituita da elenchi riepilogativi delle stazioni e schede singole relative ad ognuna di esse. In ogni scheda sono presenti due tabelle: una relativa ai caratteri fisico-climatici del bacino sotteso dalla stazione di misura ed una riportante i dati dei valori massimi annui delle portate massime annue al colmo e giornaliera.”. (Fonte: Catalogo delle piene dei corsi d'acqua italiani, 2020).

Focalizzando l'attenzione sui dati idrometrici, si può evidenziare una somiglianza nella struttura tabellare dei dati con quella degli Annali Idrologici precedenti al 1951, poiché i dati sono pubblicati attraverso le schede stazione e anche in tali schede è prevista la localizzazione della stazione in planimetria e della sezione del corso d'acqua in esame nel punto di stazione, caratteristica che poi risulta, invece, mancante negli Annali Idrologici successivi al 1951. Mentre, si può evidenziare come differenza tra le schede Annali Idrologici e quelle del Catalogo delle piene dei corsi d'acqua italiani, l'inserimento del giorno e del mese di registrazione dell'estremo portata, assenti nel Catalogo delle piene dei corsi d'acqua italiani e la tabella con le “Caratteristiche del bacino idrografico” assente negli Annali Idrologici.

In seguito, si riporta, a titolo di esempio, uno stralcio della scheda stazione riguardante il bacino idrografico “Arda a Mignano”.

A008 - ARDA a MIGNANO

Caratteristiche bacino idrografico	
Bacino Principale	Arda (Po)
Corso d'acqua:	Arda
Codice originale	PO75 ER55
Fonte	CUBIST UNIBO
Coordinate	
Longitudine [° WGS 84]	9.797
Latitudine [° WGS 84]	44.769
Est [m WGS 84 utm 32]	563096
Nord [m WGS 84 utm 32]	4957643
Caratteristiche principali	
Area bacino [km ²]	87.22
Quota media [m s.l.m.]	757
Quota max [m s.l.m.]	1338
Quota min [m s.l.m.]	329
LDP [km]	15.890
Lunghezza asta principale [km]	14.440
Serbatoi [-]	SI
Afflusso medio annuo [mm]	1177
Deflusso medio annuo [mm]	593
Curva ipsografica	
2.5 % [m]	1210
5 % [m]	1145
10 % [m]	1051
25 % [m]	902
50 % [m]	754
75 % [m]	591
90 % [m]	468
95 % [m]	410
97.5 % [m]	373
Portate	
Media portata colmo [m ³ /s]	101.6
Media portata giornaliera [m ³ /s]	37.9
Coeff. Udometrico medio (colmo) [m ³ /s/ km ²]	1.165

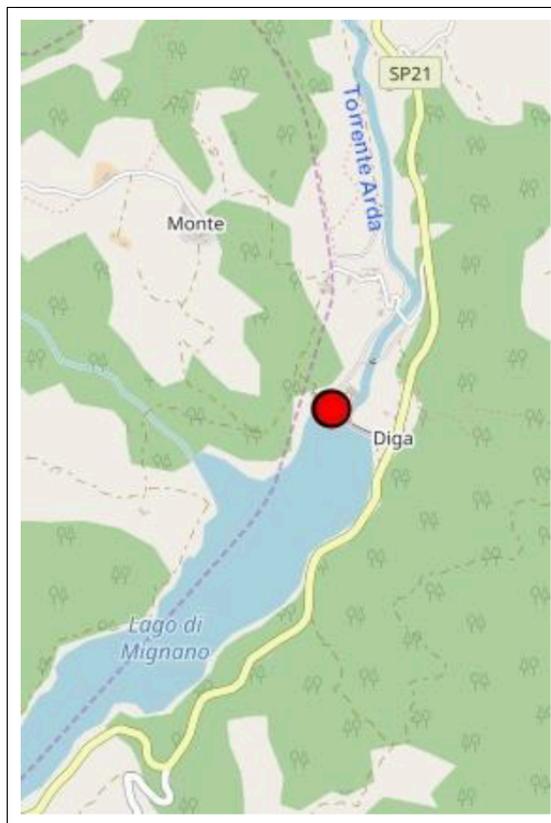
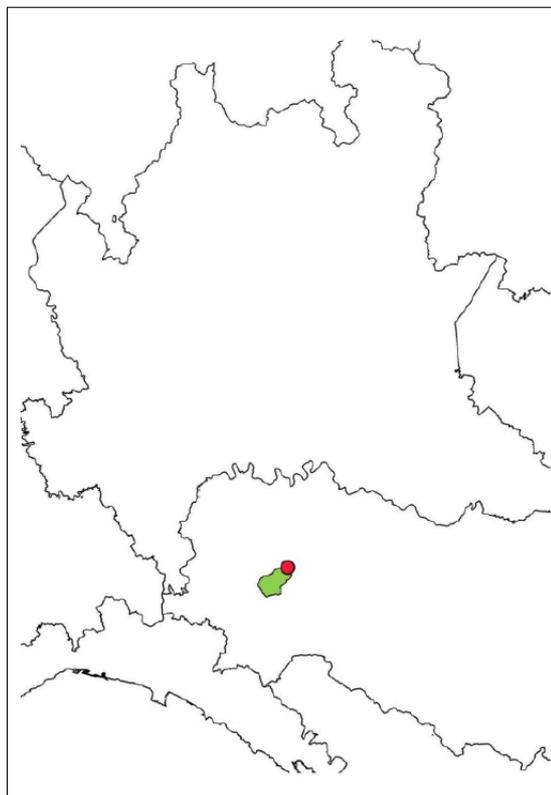


Figura 15 - Estratto parte I della scheda stazione Arda a Mignano del Catalogo delle piene dei corsi d'acqua italiani – Fonte: Catalogo delle piene dei corsi d'acqua Italiani (Claps P., D. Ganora, A. Apostolo, I. Brignolo, I. Monforte, 2020)

A008 - ARDA a MIGNANO

Anno [-]	Q _{colmo} [m ³ /s]	Q _{giorn} [m ³ /s]	Anno [-]	Q _{colmo} [m ³ /s]	Q _{giorn} [m ³ /s]	Anno [-]	Q _{colmo} [m ³ /s]	Q _{giorn} [m ³ /s]
1911			1946	60.0 ⁽⁴⁾	20.4 ⁽⁴⁾	1981	23.4	
2			7	82.3 ⁽⁴⁾	29.2 ⁽⁴⁾	2	155.5	
3			8	126.7 ⁽⁴⁾	58.4 ⁽⁴⁾	3	83.9	
4			9	80.0 ⁽⁴⁾	33.5 ⁽⁴⁾	4	58.9	
1915			1950	110.0 ⁽⁴⁾	31.7 ⁽⁴⁾	1985	36.8	
6			1	180.4 ⁽⁴⁾	44.2 ⁽⁴⁾	6	198.7	
7			2	57.9 ⁽⁴⁾	24.8 ⁽⁴⁾	7	25.4	
8			3	96.0 ⁽⁴⁾	49.4 ⁽⁴⁾	8	32.7	
9			4	46.3		9	67.8	
1920			1955	82.3		1990	106.9	
1			6	69.1		1	65.2	
2			7	83.7		2	95.0	
3			8	91.1		3	16.3	
4			9	102.6		4	94.7	
1925			1960	173.7		1995		
6			1	219.8		6	86.5	
7			2	49.7		7	86.4	
8			3	75.6		8	33.3	
9			4	57.8		9	140.2	
1930			1965	54.9		2000	152.3	
1			6	78.0		1	89.5	
2			7	26.1		2	126.0	
3			8	107.1		3	110.6	
4	108.8		9	440.7		4	79.8	
1935	121.3		1970	67.6		2005	99.1	
6	75.6		1	198.9		6	68.2	
7	450.0 ⁽⁴⁾	106.0 ⁽⁴⁾	2	54.0		7	113.7	
8	92.7 ⁽⁴⁾	34.6 ⁽⁴⁾	3	208.9		8	74.0	
9	107.4 ⁽⁴⁾	29.7 ⁽⁴⁾	4	156.5		9	145.9	
1940	120.0 ⁽⁴⁾	35.0 ⁽⁴⁾	1975	113.6		2010	179.3	
1	154.2 ⁽⁴⁾	47.7 ⁽⁴⁾	6	62.7		1	71.7	
2	46.0 ⁽⁴⁾	23.3 ⁽⁴⁾	7	45.7		2		
3	50.0 ⁽⁴⁾	25.8 ⁽⁴⁾	8	66.6		3		
4	50.0 ⁽⁴⁾	24.1 ⁽⁴⁾	9	84.0		2014		
1945	80.0 ⁽⁴⁾	26.7 ⁽⁴⁾	1980	39.3				

Figura 16 – Estratto parte II della scheda stazione Arda a Mignano del Catalogo delle piene dei corsi d'acqua italiani – Fonte: Catalogo delle piene dei corsi d'acqua Italiani (Claps P., D. Ganora, A. Apostolo, I. Brignolo, I. Monforte, 2020)

2.3 ANALISI DEI DATI PLUVIOMETRICI

2.3.1 Struttura dei dati consultati

La base di dati pluviometrica a cui si fa riferimento è composta non solo dagli estremi di precipitazione sub-giornaliera (durate di 1, 3 o 6 ore), ma anche dagli estremi di precipitazione giornaliera e dalle cumulate delle precipitazioni giornaliere nei 10 giorni antecedenti la data dell'evento estremo, registrati dai pluviometri dal 1916 al 2020: la motivazione della scelta di tali dati risiede nella maggiore disponibilità di corrispondenze tra il giorno ed il mese di registrazione dell'estremo pluviometrico e quello dell'estremo di portata giornaliera, che contribuisce ad avere un campione con numerosità più elevata rispetto al solo dato di precipitazione sub-giornaliera.

I dati da cui si è creato il database provengono dagli *Annali Idrologici* (Fonte: ISPRA), che ha consentito di acquisire oltre i dati di precipitazione, anche il giorno ed il mese di registrazione dell'estremo pluviometrico.

In seguito, si riporta, a titolo di esempio, la struttura dei dati.

2.3.1.1 Annali Idrologici

Riprendendo quanto scritto nel paragrafo 2.2 nella sezione dedicata agli Annali Idrologici, per la consultazione dei dati pluviometrici in essi contenuti si è fatto riferimento ai fascicoli Parte I e Parte II, a seconda dell'anno di interesse e a differenti tabelle, a seconda del tipo di dato:

- Per gli estremi di precipitazione sub-giornaliera (durate di 1, 3 o 6 ore), si è fatto riferimento alla tabella “Precipitazioni di massima intensità registrate ai pluviografi” (o “Precipitazioni di massima intensità” in base all'anno di interesse) contenuta nella Parte II (Elaborazioni e Studi) degli annali fino al 1934 e nella Parte I (Sezione B) in quelli successivi;
- Per gli estremi di precipitazione giornaliera e delle cumulate delle precipitazioni giornaliere nei 10 giorni antecedenti la data dell'evento estremo di portata, si è fatto riferimento alla tabella delle “Osservazioni pluviometriche giornaliere” (o “Precipitazioni meteoriche giornaliere, decadiche e mensili” in base all'anno di interesse) contenuta nella Parte I (Osservazioni) degli annali fino al 1934 e nella Parte I (Sezione B) in quelli successivi, con la differenza che inizialmente la tabella era divisa in blocchi mensili contenenti all'interno sulle righe le stazioni pluviometriche e sulle colonne i giorni del mese; mentre, successivamente la tabella venne suddivisa in tabelle più piccole, una per ciascuna stazione pluviometrica, con all'interno tutti i mesi sulle colonne e i giorni sulle righe.

In seguito, si riportano, a titolo di esempio, le schede delle registrazioni pluviometriche della stazione di misura “Mignano – diga”, rispettivamente per gli anni 1937 e 1951 per cui è possibile notare la differenza di rappresentazione. Tali schede riportano in una tabella le “Precipitazioni di massima intensità registrate ai pluviografi” per le durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore e in un'altra tabella le “Osservazioni pluviometriche giornaliere” da cui è stato estratto il massimo mensile per ogni anno di interesse e da cui sono state calcolate le cumulate nei 10 giorni antecedenti la data dell'evento estremo di portata.

Tabella III. — Precipitazioni di massima intensità registrate ai pluviografi

Anno 1951

BACINO E STAZIONE	INTERVALLO DI ORE														
	1			3			6			12			24		
	mm	INIZIO		mm	INIZIO		mm	INIZIO		mm	INIZIO		mm	INIZIO	
		giorno	mese		giorno	mese		giorno	mese		giorno	mese		giorno	mese
TREBBIA															
Loco Carchelli	32.0	8	nov.	58.0	8	nov.	68.0	8	nov.	123.0	8	nov.	168.0	8	nov.
Losso - c.le	33.0	24	gen.	56.0	10	lug.	56.0	10	lug.	76.0	8	nov.	116.0	7	nov.
S. Stefano d'Aveto	23.0	5	feb.	40.0	5	feb.	59.0	5	feb.	65.5	8	nov.	94.5	8	nov.
Boschi d'Aveto - diga	34.0	9	ag.	35.0	9	ag.	64.7	15	lug.	72.0	15	lug.	104.0	7	nov.
Bobbio	39.0	16	lug.	45.5	16	lug.	45.5	16	lug.	50.5	8	nov.	73.0	7	nov.
Statto	25.0	14	lug.	39.0	11	nov.	41.0	11	nov.	49.5	11	nov.	62.0	11	nov.
NURE															
Ferriere	49.0	7	ag.	49.0	7	ag.	50.0	7	ag.	50.0	7	ag.	59.0	7	nov.
ARDA															
Mignano - diga	21.0	3	mag.	23.0	3	mag.	28.0	5	feb.	47.0	5	feb.	76.0	29	sett.
TARO															
Bedonia	21.0	11	nov.	31.5	11	nov.	57.0	5	feb.	67.0	5	feb.	74.0	11	nov.
Bardi - c.le	22.0	11	nov.	31.0	11	nov.	34.0	11	nov.	43.0	11	nov.	73.0	2	gen.
Salsomaggiore	12.0	5	lug.	26.0	24	ott.	34.0	24	ott.	50.0	28	sett.	72.0	28	sett.
Roccabianca	20.5	23	ott.	39.5	23	ott.	48.5	23	ott.	75.0	23	ott.	96.0	23	ott.
PARMA															
Bosco - c.le	30.0	7	nov.	82.0	7	nov.	126.0	7	nov.	153.5	7	nov.	194.0	7	nov.
Marra - c.le	27.0	7	nov.	59.0	7	nov.	80.0	7	nov.	110.0	7	nov.	142.0	7	nov.
Parma - Università	22.0	23	ott.	32.0	23	ott.	49.0	23	ott.	60.0	23	ott.	74.0	23	ott.
ENZA															
Isola di Palanzano	24.0	13	mar.	35.0	13	mar.	46.0	13	mar.	61.0	5	feb.	76.0	5	feb.
Montechiarugolo	35.0	5	lug.	43.5	5	lug.	46.0	5	lug.	52.0	30	sett.	67.5	29	sett.
CROSTOLO															
Reggio Emilia	28.5	6	lug.	35.3	6	lug.	35.5	6	lug.	41.0	30	sett.	61.0	30	sett.
ZONA DI PIANURA FRA CROSTOLO e SECCHIA															
Carpi	36.0	30	giu.	43.5	30	giu.	45.0	30	giu.	46.0	30	giu.	65.5	30	giu.
SECCHIA															
Fontanaluccia	21.0	20	lug.	24.0	5	feb.	41.0	12	nov.	54.0	5	feb.	79.0	11	nov.
Farneta - c.le	26.0	24	ott.	29.0	24	ott.	40.0	29	sett.	52.0	29	sett.	76.0	29	sett.
Pavullo	28.0	4	giu.	45.0	4	giu.	57.0	30	sett.	77.0	30	sett.	105.0	30	sett.
Sassuolo	23.0	25	ott.	42.0	29	sett.	55.0	29	sett.	75.0	29	sett.	96.5	29	sett.
Marola	24.0	23	ott.	32.0	23	ott.	39.0	29	sett.	63.0	29	sett.	91.0	29	sett.
PANARO															
Strettara - c.le	29.0	24	ott.	38.0	24	ott.	45.0	29	sett.	65.0	29	sett.	98.0	29	sett.
Modena	24.0	30	giu.	27.0	30	giu.	34.0	29	sett.	42.0	29	sett.	59.0	29	sett.

Figura 19 - Estratto della tabella "Precipitazioni di massima intensità registrate ai pluviografi" degli Annali Idrologici, contenente la stazione pluviometrica "Mignano - diga" (1951) — Fonte: ISPRA

Tabella I - Osservazioni pluviometriche giornaliere

Anno 1951

MIGNANO - diga BACINO: ARDA (342 m s. m.)													Giorno	CASTELL'ARQUATO BACINO: ARDA (165 m s. m.)												
(Pr)	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D		(P)	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
—	1.0	—	—	—	10.0	—	—	—	—	52.5	12.0	—	1	—	1.0	—	—	—	»	8.0	—	—	—	—	—	
2.0	—	—	—	12.0	—	2.0	—	—	—	6.0	—	10.0	2	1.0	—	2.0	2.0	—	»	—	—	—	—	3.0	15.0	—
38.0	—	—	—	—	1.5	—	—	—	—	—	—	6.5	3	32.0	—	—	—	»	—	—	—	—	—	—	—	2.0
48.0	—	—	—	1.0	26.5	—	—	—	—	—	—	8.0	4	24.0	—	—	1.0	3.0	»	—	—	—	—	—	—	13.0
—	12.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5	—	7.0	—	—	—	»	—	—	—	—	—	—	—
—	50.0	—	—	—	—	29.0	—	—	—	—	—	4.0	6	—	61.0	5.0	—	—	»	3.0	—	—	—	—	—	—
—	—	17.5	—	—	—	—	—	—	—	—	1.0	2.0	7	—	6.0	16.0	—	—	»	—	—	—	—	—	—	—
—	11.0	11.5	—	4.5	—	—	—	—	—	28.0	—	—	8	—	5.0	5.0	—	3.0	»	—	—	—	—	27.0	5.0	—
—	—	—	1.5	6.0	2.5	1.0	15.0	—	—	40.0	—	—	9	—	—	—	—	—	»	9.0	—	—	—	—	41.0	—
—	—	—	3.5	18.0	—	—	—	—	—	10.0	—	—	10	—	—	—	—	13.0	»	—	—	—	—	—	10.0	—
—	—	—	—	12.0	—	—	—	—	—	8.5	—	—	11	—	2.0	—	—	11.0	»	—	—	—	—	—	3.0	—
4.0	6.0	—	—	—	—	—	—	—	—	50.0	—	—	12	—	9.0	17.0	21.0	—	»	—	—	—	—	—	62.0	—
10.5	20.0	—	1.5	—	—	—	—	—	—	2.0	—	—	13	9.0	13.0	—	2.0	—	»	23.0	—	—	—	—	—	—
—	—	5.0	12.5	—	11.5	—	—	—	5.5	—	—	—	14	—	2.0	—	—	12.0	»	—	—	—	—	—	2.0	—
—	—	7.0	—	—	8.0	—	—	—	3.0	—	—	—	15	—	1.0	4.0	—	11.0	»	—	—	8.0	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	2.5	—	—	—	—	—	—	16	—	8.0	—	—	—	»	6.0	3.0	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	3.0	—	—	—	—	—	—	17	—	—	—	—	6.0	»	5.0	6.0	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	18	—	—	—	—	—	»	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	19	—	—	9.0	—	2.0	»	—	—	—	3.0	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	20	—	—	—	—	—	»	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21	—	—	—	—	—	»	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	22	—	—	—	—	—	»	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	23	—	—	—	—	—	»	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	24	—	—	—	—	—	»	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	25	—	—	—	—	—	»	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	26	—	—	—	—	—	»	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	27	—	—	—	—	—	»	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	—	—	—	—	»	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	29	—	—	—	—	—	»	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	30	—	—	—	—	—	»	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	31	—	—	—	—	—	»	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	31	—	—	—	—	—	»	—	—	—	—	—	—	—
198.0	138.5	100.0	21.5	132.0	7.5	68.0	25.0	98.0	157.5	208.0	54.5	Totale mens.	140.0	137.0	80.0	26.0	121.0	[35.0]	55.0	35.0	114.0	83.0	198.0	58.0	N. gior. piovosi	
13	13	11	3	10	4	10	4	6	8	12	6	12	16	11	4	10	[6]	7	5	6	7	11	7	7	Totale annuo: 1208.5 mm	
Giorni piovosi 100													Giorni piovosi 102													
Giorni piovosi 107													Giorni piovosi 86													

Figura 20 - Estratto della tabella "Osservazioni pluviometriche giornaliere" degli Annali Idrologici, contenente la stazione pluviometrica "Mignano - diga" (1951) — Fonte: ISPRA

3. I BACINI IDROGRAFICI ITALIANI

Nel presente capitolo, saranno illustrate le metodologie utilizzate per la selezione dei bacini oggetto di studio, compresi i criteri iniziali e le ipotesi semplificative adottate. Inoltre, verranno fornite informazioni sulle caratteristiche morfometriche dei bacini e sulla stima dei tempi di corrivazione, aspetti essenziali per l'analisi successiva oggetto del presente elaborato di tesi.

3.1 SCELTA DEI BACINI OGGETTO DI ANALISI

3.1.1 Analisi preliminare

Come precedentemente menzionato nel Capitolo 1, inizialmente si aveva l'intenzione di estendere lo studio a tutti i 631 bacini italiani presenti nel Catalogo delle Piene dei corsi d'acqua Italiani. Tuttavia, a causa della grande quantità di bacini, è stato ritenuto più opportuno adottare alcune ipotesi semplificative per limitare i casi di studio. Queste ipotesi verranno spiegate in dettaglio nel presente capitolo.

Nella prima fase, sono stati presi in considerazione i bacini di dimensioni limitate, con un'area inferiore a 100 km², ma con un'area complessiva di indagine compresa tra 400 e 500 km² ($A_{TOT} = A_{BACINO} + A_{BUFFER}$).

Questa scelta era motivata dal bisogno di considerare un numero sufficiente di pluviometri per ciascun bacino. È stato necessario evitare situazioni in cui un bacino avesse un solo pluviometro o, addirittura, nessuno. Inoltre, questa selezione era fondamentale per calcolare i dati di precipitazione per ciascun bacino utilizzando metodi di pioggia areale. Di conseguenza, per ogni bacino è stata effettuata la ricerca della dimensione ottimale di una regione di buffer da applicare all'area di partenza. Dalla prima fase di analisi, sono emersi 198 bacini idonei.

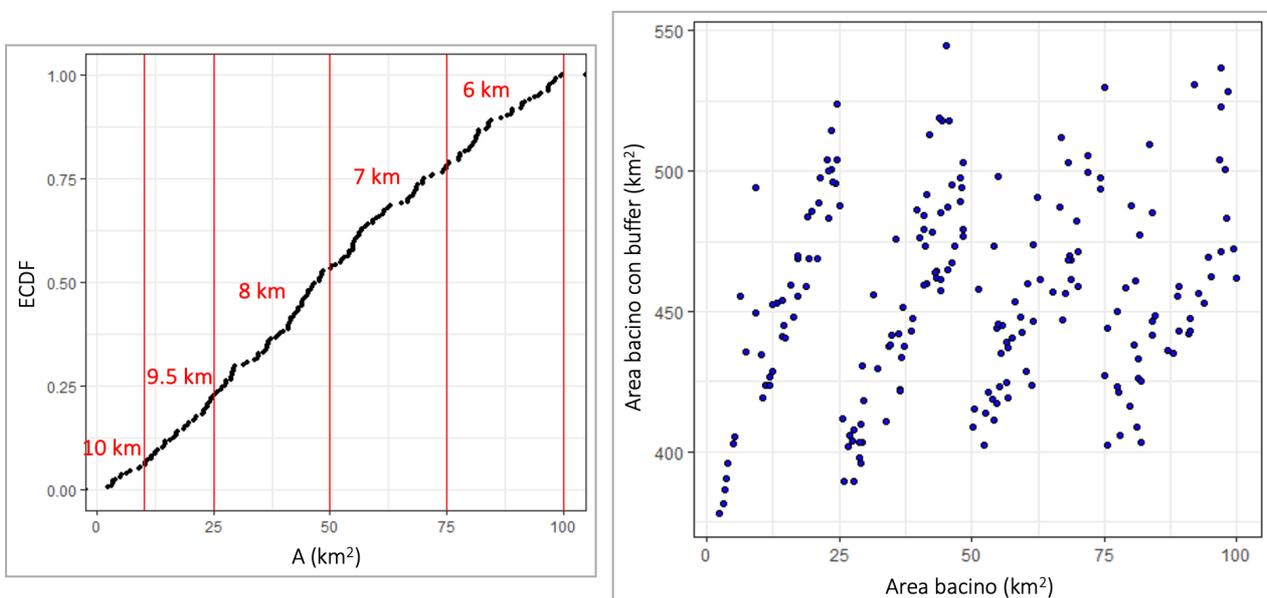


Figura 21 - Analisi su bacini con $A < 100 \text{ km}^2$ - (198 bacini di 631)

Va sottolineato che, poiché l'obiettivo finale era il calcolo dei coefficienti di deflusso utilizzando il metodo della corrivazione tramite la formula razionale, inizialmente sono state considerate le portate al colmo di piena. Tuttavia, successivamente, in seguito alle analisi di selezione dei dati descritte nel Capitolo 4, si è deciso di spostare l'attenzione sulle portate massime giornaliere. Questa decisione è stata giustificata dalla maggiore

disponibilità dei dati e dalla necessità di avere la data (giorno e mese) associata a queste misurazioni. Si è notato che, in generale, dove erano presenti le portate al colmo di piena, lo erano anche le portate massime giornaliere, ma non necessariamente viceversa, quindi, la selezione dei bacini che viene illustrata nel presente capitolo resta valida.

Il lavoro è proseguito concentrandosi sulla finestra temporale dell'analisi, che ha coperto il periodo tra il 1916 e il 2020. Per ciascun bacino, sono stati analizzati il numero di anni in cui si sono verificati eventi estremi con dati di portata al colmo e precipitazioni di massima intensità, e il numero di pluviometri attivi in quegli anni all'interno di ciascun bacino.

Questo processo è stato diviso in due fasi:

- Analisi della contemporaneità degli eventi estremi tra anni e bacini tra il 1916 e il 2020.
- Analisi della presenza di pluviometri attivi nei bacini tra il 1916 e il 2020.

Nel primo step di analisi, si è proceduto alla valutazione della contemporaneità tra i dati di portata al colmo e le precipitazioni di massima intensità. È importante sottolineare che questa verifica non implica necessariamente la corrispondenza tra gli eventi Q-P, poiché questo aspetto verrà ulteriormente dettagliato nel Capitolo 4. La matrice di contemporaneità è stata strutturata come segue: la prima riga elenca gli anni oggetto di studio, che spaziano dal 1916 al 2020; la prima colonna presenta i codici dei 198 bacini, identificati da una lettera iniziale che indica il distretto di riferimento e da un codice numerico (ad esempio, A008 per il bacino "Arda a Mignano" del Distretto di Parma). Gli elementi all'interno della matrice indicano se l'evento è contemporaneo (valore 1) o non contemporaneo (valore 0) per un dato bacino in un determinato anno. Le caselle in rosso indicano i bacini per i quali non sono disponibili dati di portata al colmo di piena in quegli anni. Se ne riporta qui un estratto:

Bacino/Anni	1916	1917	1918	1919	1920	1921	1922	1923	1924	1925	1926	1927	1928	1929	1930	1931	1932	1933	1934	1935	1936	1937	1938	1939	1940	1941	1942
A008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
A009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
A023	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
A024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A026	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A027	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A028	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A030	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
A033	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A034	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A038	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A042	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A043	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A044	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A045	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A046	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A054	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A055	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A062	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A064	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A067	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A068	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A070	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A072	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A075	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A077	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0

Figura 22 – Estratto della matrice di contemporaneità anni/bacini tra il 1916 e il 2020

Nel secondo step, si è proceduto all'analisi della matrice relativa alla presenza di pluviometri attivi nei bacini tra il 1916 e il 2020. La matrice è organizzata come segue: la prima riga elenca gli anni oggetto di studio (dal 1916 al 2020); la prima colonna riporta i codici numerici dei 1601 pluviometri relativi ai bacini in studio. La seconda colonna fornisce i nomi dei pluviometri corrispondenti, mentre la terza colonna elenca i codici dei 198 bacini, seguendo la stessa convenzione descritta precedentemente. Gli elementi all'interno della matrice indicano se un determinato pluviometro è attivo (valore 1) o non attivo (valore 0) per un determinato bacino in un dato anno. Anche in questo caso se ne riporta un estratto:

Codice Pluviometro	Nome Pluviometro	Codice Bacino	1916	1917	1918	1919	1920	1921	1922	1923	1924	1925	1926	1927	1928	1929	1930	1931	1932	1933	1934	1935	1936	1937	1938	1939	1940	1941	1942	
5037	Bore	A008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5069	Case_Bonini	A008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5177	Mignano_Diga	A008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5202	Morfasso	A008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5265	Rusteghini	A008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5284	San_Michele	A008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5321	Teruzzi	A008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8014	Barbagelata	A010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8028	Brugneto_Diga	A010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8032	Cabanne	A010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0
8064	Cichero	A010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8085	Croce_Orero	A010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8094	Favale_Di_Malvaro	A010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8118	Giacopiane_-_Diga_(Già_Giacopiane)	A010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
8119	Giacopiane_-_Lago	A010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8137	Loco_Carchelli	A010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	
8170	Neirone	A010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8172	Ognio	A010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8183	Pian_Deil_Ratti	A010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8186	Piana_Di_Soglio	A010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8208	Rovegno	A010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8214	S_Michele	A010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
8230	Sella_Giassina	A010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8247	Tigliolo	A010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
8248	Torriglia_-_Idrografico	A010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
12400	Campiglia_Soana	A011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12424	Piampolato_Soana	A011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12425	Piampolato	A011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20006	Verres_Capoluogo	A011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20008	Verres_A	A011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20009	Champdepraz	A011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20036	Champdepraz_Chevrere	A011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20043	Champorcher	A011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20051	Champorcher_Petit_Mont_Blanc	A011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9060	Casatenovo_Pr	A014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9063	Casino_Erba	A014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9095	Costa_Masnaga	A014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9116	Erba	A014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 23 - Estratto della matrice pluviometri attivi/bacini tra il 1916 e il 2020

Per ciascuno dei 198 bacini analizzati, è stata creata una tabella riassuntiva che include il "Codice del bacino", il "Nome del bacino", il "Numero di anni con dati contemporanei" e il "Numero di pluviometri attivi nell'area (con buffer)". Questa tabella completa è disponibile nell'Allegato 1. Qui riportiamo un estratto con i primi 10 bacini.

Codice Bacino	Nome Bacino	n°anni dati contemporaneità	n° pluviometri attivi nell'area (con buffer)
A008	Arda a Mignano (diga del serbatoio)	71	7
A009	Artanavaz (Dora Baltea) a St Oyen	0	3
A010	Aveto (Tebbia) a Cabanne	17	18
A011	Ayasse (Dora Baltea) a Champorcher	21	9
A014	Bevera a Colombaio	17	8
A016	Borbore a San Damiano d'Asti	17	5
A019	Bormida di Mallare a Ferrania	20	11
A023	Bormida di Spigno a Valla	49	6
A024	Bousset a Tetti Porcera	0	4
A026	Breuil a Alpette	0	3

Tabella 1 – Estratto della tabella in ALLEGATO 1 contenente i primi 10 dei 198 bacini oggetto di studio

I 198 bacini oggetto di studio sono stati visualizzati tramite QGIS, un software GIS (Geographic Information System) che permette di analizzare dati spaziali e di generare cartografia. Nella rappresentazione cartografica, i bacini sono colorati in base al "Numero di anni con dati contemporanei", consentendo una rapida visualizzazione dei bacini con il maggior numero di dati osservati.

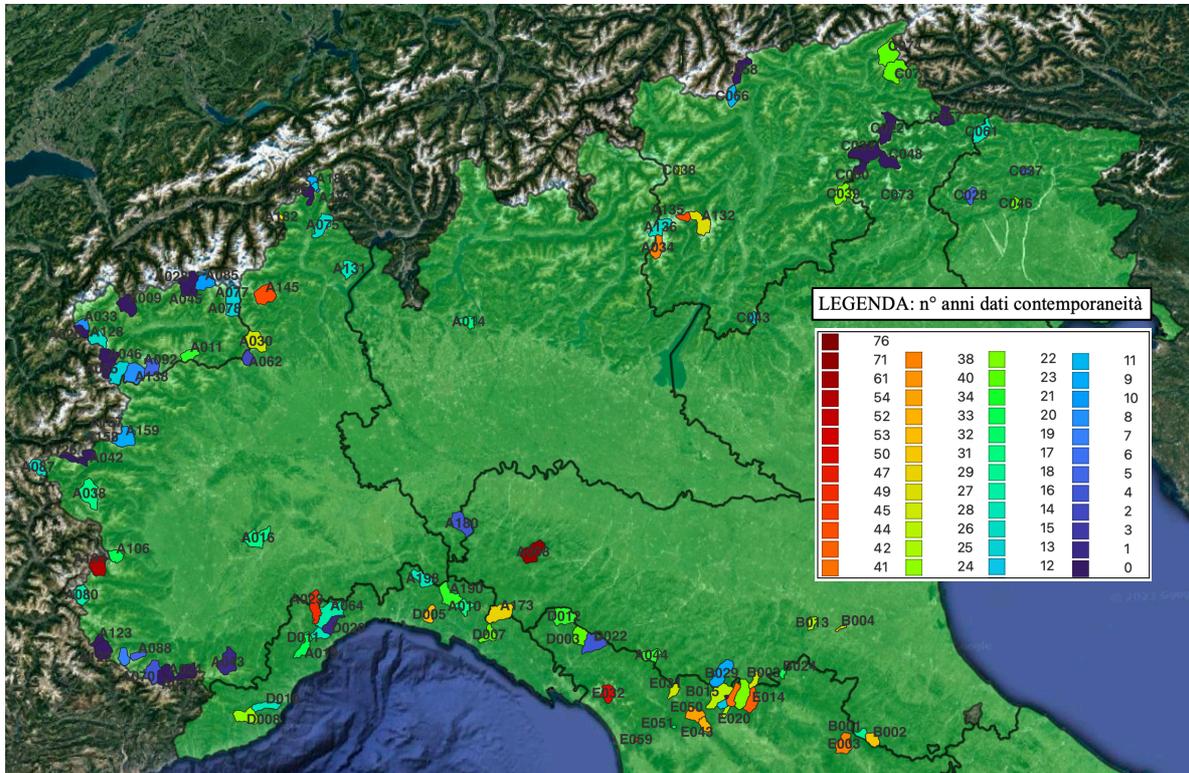


Figura 24 – Bacini risultati dall'analisi preliminare (Nord Italia)

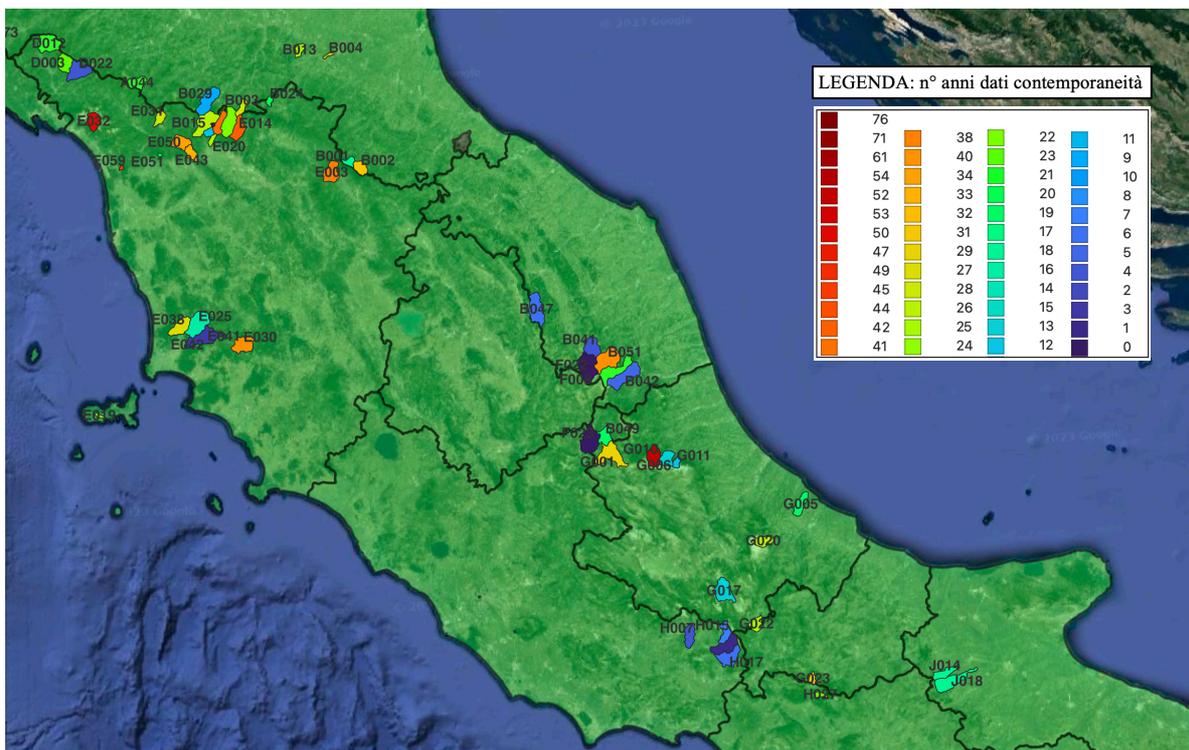


Figura 25 - Bacini risultati dall'analisi preliminare (Centro Italia)

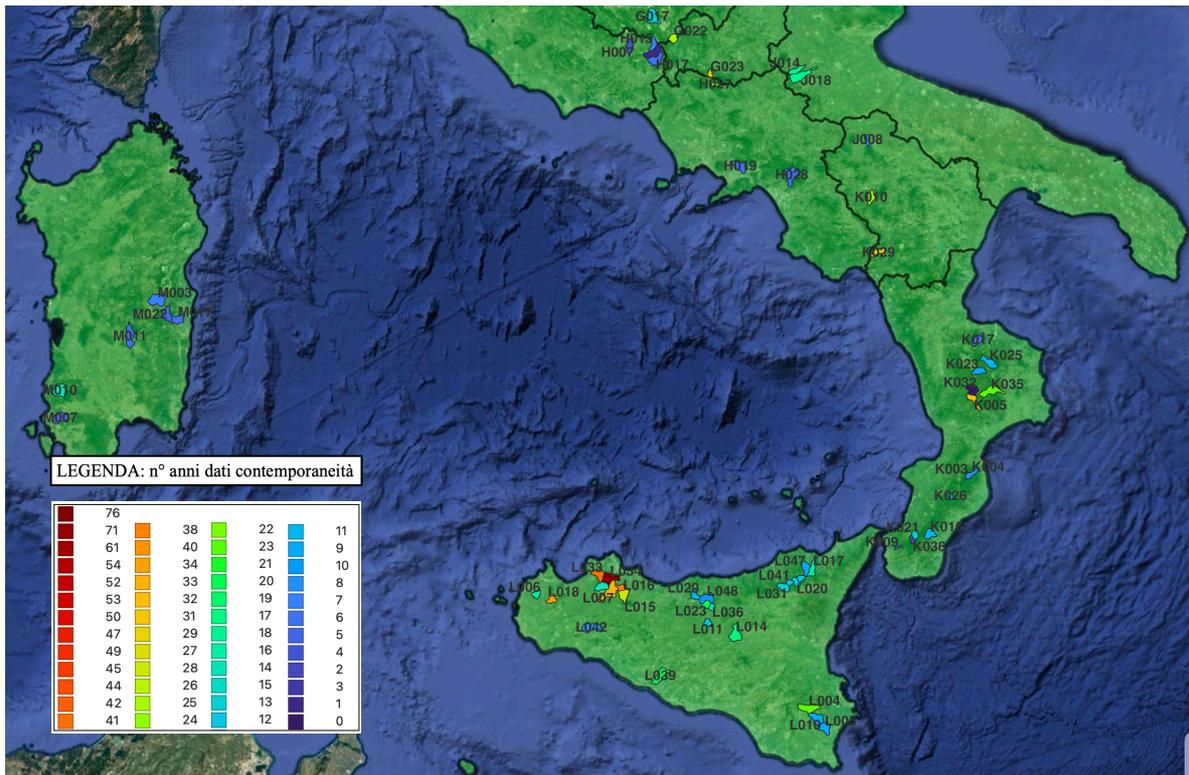


Figura 26 - Bacini risultati dall'analisi preliminare (Sud Italia e Isole)

Inoltre, i bacini sono rappresentati con un buffer che evidenzia l'area complessiva scelta per ciascuno ($A_{TOT} = A_{BACINO} + A_{BUFFER}$), facilitando la visualizzazione dell'area totale di ciascun bacino.

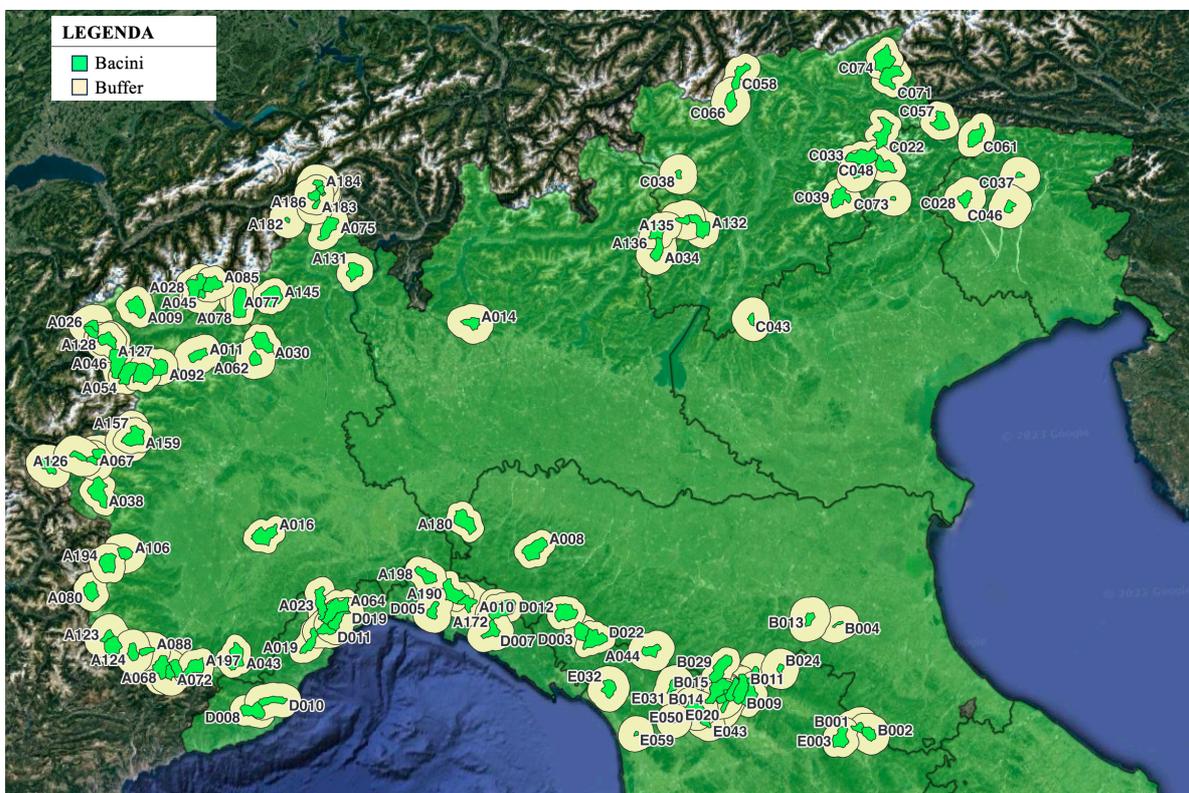


Figura 27 - Bacini risultati dall'analisi preliminare con raffigurata l'area complessiva (bacino+buffer) - Nord Italia

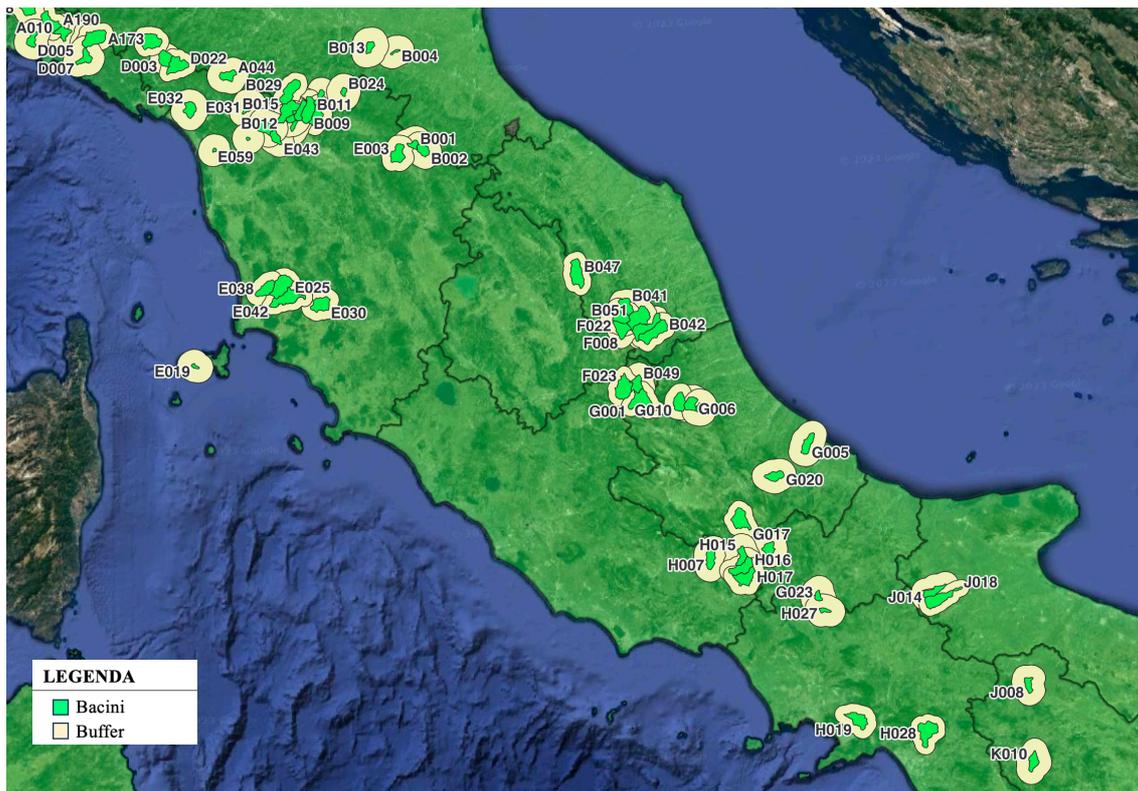


Figura 28 - Bacini risultati dall'analisi preliminare con raffigurata l'area complessiva (bacino+buffer) - Centro Italia



Figura 29 - Bacini risultati dall'analisi preliminare con raffigurata l'area complessiva (bacino+buffer) - Sud Italia e Isole

Con l'identificazione dei 198 bacini, si è conclusa l'analisi preliminare. Tuttavia, prima di procedere con la ricerca dei dati relativi ai massimi di portata e precipitazione, necessari per la stima dei coefficienti di deflusso, è stata condotta una seconda analisi. Dato l'ampio volume di dati da ricercare (valori di precipitazione e portata per ciascun anno di contemporaneità del dato, per ciascun bacino selezionato), sono stati introdotti ulteriori criteri di selezione dei bacini per semplificare la successiva fase di raccolta dei dati.

3.1.2 Criteri di selezione

Nell'ambito dell'analisi condotta, sono stati applicati tre criteri di selezione per ridurre il numero di bacini oggetto di studio:

- **Primo Criterio:** I bacini con almeno 15 anni di osservazione sono stati considerati.

Questo primo criterio ha ridotto il numero di bacini da 198 a 94. È possibile consultare l'elenco completo dei 94 bacini nell'Allegato 2, e qui riportiamo un estratto con i primi 10.

Codice Bacino	Nome Bacino	n°anni dati contemporaneità.	1° Criterio: n°anni contemporaneità >=15
A008	Arda a Mignano (diga del serbatoio)	71	OK
A009	Artanavaz (Dora Baltea) a St Oyen	0	NO
A010	Aveto (Trebba) a Cabanne	17	OK
A011	Ayasse (Dora Baltea) a Champorcher	21	OK
A014	Bevera a Colombaio	17	OK
A016	Borbore a San Damiano d'Asti	17	OK
A019	Bormida di Mallare a Ferrania	20	OK
A023	Bormida di Spigno a Valla	49	OK
A024	Bousset a Tetti Porcera	0	NO
A026	Breuil a Alpette	0	NO

Tabella 2 - Estratto della tabella in ALLEGATO 2 contenente i primi 10 dei 198 bacini oggetto di studio

- **Secondo Criterio:** Si sono inclusi solo i bacini di dimensioni ridotte (con un'area inferiore a 100 km²) per evitare complessità legate alla distribuzione spaziale delle precipitazioni.
- **Terzo Criterio:** Sono stati selezionati bacini che si trovano a quote inferiori a 1000 metri sul livello del mare per evitare problemi legati alle precipitazioni nevose.

L'applicazione dei criteri secondo e terzo ha ulteriormente ridotto il numero di bacini da 94 a 51. Anche l'elenco di questi 51 bacini è disponibile nell'Allegato 2, e qui presentiamo un estratto con i primi 10.

Codice Bacino	Nome Bacino	Area bacino [km ²]	Quota media bacino [m s.l.m.]	2° Criterio: A<100 km ²	3° Criterio: H<1000 m
A008	Arda a Mignano (diga del serbatoio)	87,22	757	OK	OK
A010	Aveto (Trebba) a Cabanne	39,66	989	OK	OK
A011	Ayasse (Dora Baltea) a Champorcher	42,72	2368	OK	NO
A014	Bevera a Colombaio	37,76	821	OK	OK
A016	Borbore a San Damiano d'Asti	85,31	244	OK	OK
A019	Bormida di Mallare a Ferrania	50,40	604	OK	OK
A023	Bormida di Spigno a Valla	68,46	468	OK	OK
A030	Cervo (Sesia) a Passobreve	75,44	1505	OK	NO
A034	Chiese Malga Bissina	51,30	2430	OK	NO
A038	Chisone a Soucheres Basses	93,26	2221	OK	NO

Tabella 3 - Estratto della tabella in ALLEGATO 2 contenente i primi 10 dei 94 bacini oggetto di studio

Per ciascuno dei 51 bacini analizzati, è stata creata una tabella riassuntiva che include il "Codice del bacino", il "Nome del bacino" e il "Numero di anni con dati contemporanei", come mostrato di seguito.

Codice Bacino	Nome Bacino	n°anni dati contemporaneità
A008	Arda a Mignano (diga del serbatoio)	71
A010	Aveto (Trebba) a Cabanne	17

A014	Bevera a Colombaio	17
A016	Borbore a San Damiano d'Asti	17
A019	Bormida di Mallare a Ferrania	20
A023	Bormida di Spigno a Valla	49
A064	Erro (Bormida) a Sassello	16
A173	Taro a Piane di Carniglia	29
A190	Trebbia a Due Ponti	21
B002	Bidente di Ridracoli a Ridracoli (diga del serbatoio)	31
B004	Correcchio (Reno) a Contrada Il Portone	27
B009	Limentra di Riola (Reno) a Stagno	28
B010	Limentra di Sambuca (Reno) a Pavana (diga del serbatoio)	41
B011	Limentra di Treppio (Reno) a Suviana (diga del serbatoio)	22
B013	Quaderna (Reno) a Palesio	25
B014	Reno a Pracchia	61
B015	Reno a Molino di Pallone	26
C046	Diga di Tul	23
D003	Bagnone a Bagnone	23
D005	Bisagno a La Presa	32
D007	Graveglia a Caminata	23
D008	Impero a Ruge di Pontedassio	24
D012	Magra a Piccatello	21
D019	Sansobbia a Ponte Poggi	33
E003	Arno a Stia	38
E014	Bisenzio a Praticello	42
E019	Bovalico a San Mamiliano	22
E020	Brana a Burgianico	25
E025	Cornia a Frassine	16
E030	Farma a Ponte di Torniella	40
E032	Frigido a Canevara	50
E038	Massera a Molino del Balzone	27
E041	Milia a Grillandina	17
E043	Nievole a Colonna	33
E050	Pescia di Pescia a Molino Narducci	34
E051	Rio Sana a Cartiera Valgiano	19
E059	Sorgente di Villa Spada a Quiesa	45
G005	Feltrino a San Vito	19
G022	Zittola a Montenero	25
H027	Torano a Piedimonte d'Alife	22
L004	Anapo a San Nicola	23
L006	Baiata a Sapone	16
L014	Dittaino a Bozzetta	17
L015	Eleuterio a Lupo	53
L016	Eleuterio a Risalaimi	28
L017	Elicone a Falcone	16
L018	Fastaia a La China	34
L033	Nocella a Zucco	41
L034	Oreto a Parco	76

L039	San Biagio a Mandorleto	20
L052	Valle dell'Acqua a Serena	38

Tabella 4 - I 51 bacini risultati dall'analisi

Infine, per renderne la visualizzazione più agevole, i 51 bacini sono stati illustrati utilizzando il software QGIS.

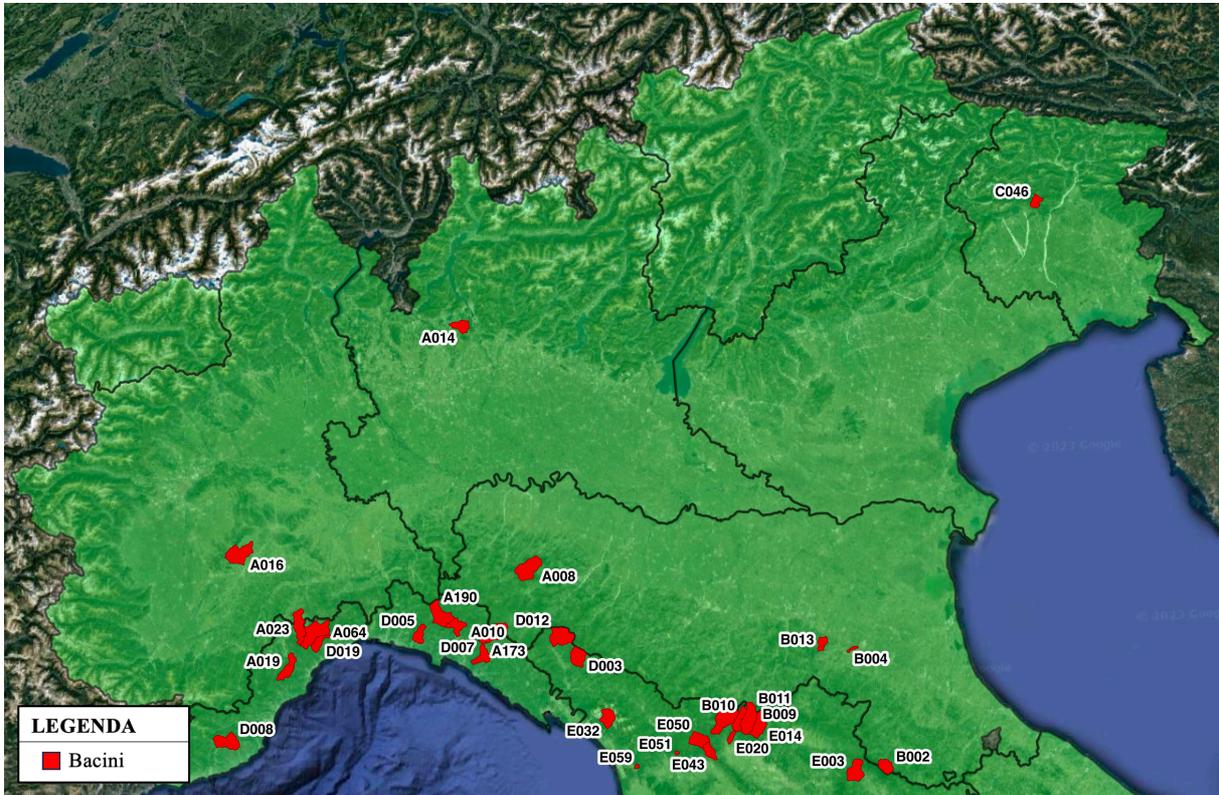


Figura 30 - Bacini oggetto di studio (Nord Italia)



Figura 31 - Bacini oggetto di studio (Centro Italia)

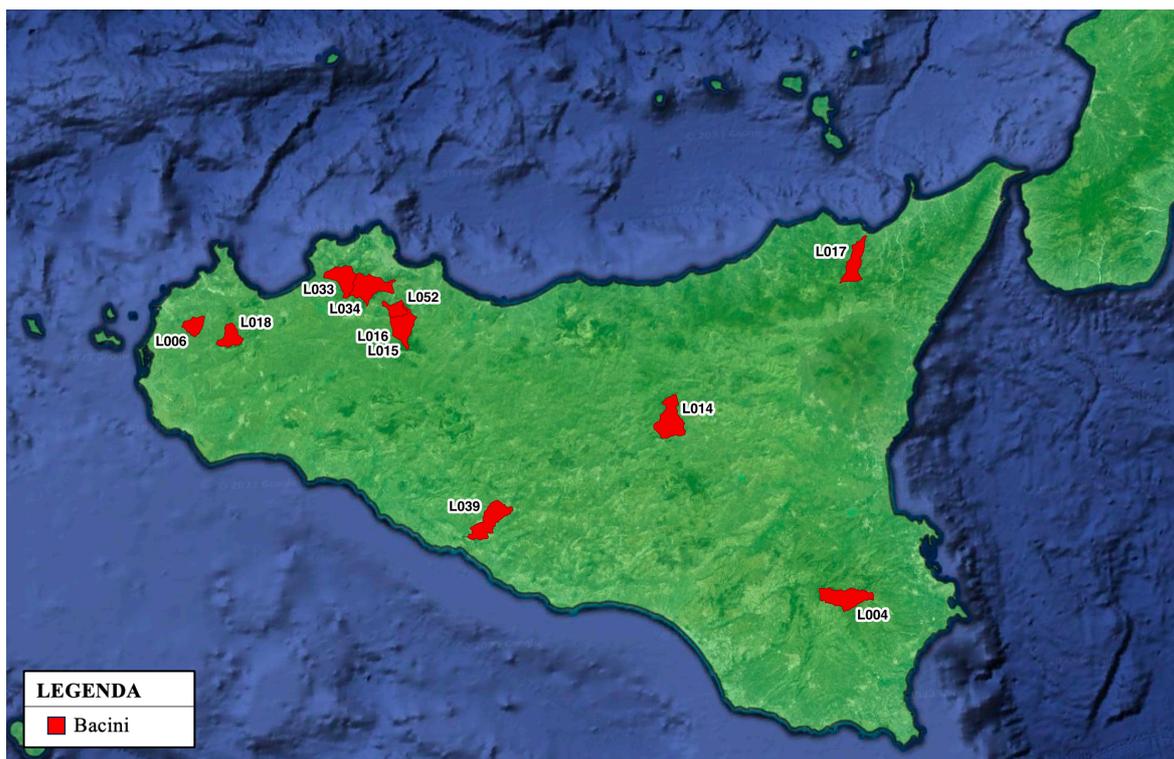


Figura 32 – Bacini oggetto di studio (Sud Italia e Isole)

3.1.3 Pluviometri

Per la misurazione delle precipitazioni, vengono comunemente utilizzati i pluviometri. Questi strumenti consentono di raccogliere e misurare la quantità di pioggia caduta al suolo sotto forma liquida durante un periodo specifico. La misurazione della quantità di pioggia si esprime in millimetri (mm), un'unità di misura ampiamente adottata nel contesto della ricerca scientifica, poiché agevola il calcolo del volume d'acqua caduto su una determinata superficie.

Attraverso la matrice "pluviometri attivi/bacini", come precedentemente descritto, è stato possibile verificare, per ciascun bacino con un'area totale comprensiva di $A_{TOT} = A_{BACINO} + A_{BUFFER}$, quali pluviometri erano attivi negli anni dal 1916 al 2020. Questa analisi è stata condotta sui 51 bacini selezionati. Nella tabella sottostante, è indicato il numero di pluviometri attivi per ciascun di questi bacini.

Codice Bacino	Nome Bacino	n°pluviometri attivi nell'area (con buffer)
A008	Arda a Mignano (diga del serbatoio)	7
A010	Aveto (Tebbia) a Cabanne	18
A014	Bevera a Colombaio	8
A016	Borbore a San Damiano d'Asti	5
A019	Bormida di Mallare a Ferrania	11
A023	Bormida di Spigno a Valla	6
A064	Erro (Bormida) a Sassello	11
A173	Taro a Piane di Carniglia	14
A190	Tebbia a Due Ponti	11
B002	Bidente di Ridracoli a Ridracoli (diga del serbatoio)	6

B004	Correcchio (Reno) a Contrada Il Portone	5
B009	Limentra di Riola (Reno) a Stagno	8
B010	Limentra di Sambuca (Reno) a Pavana (diga del serbatoio)	10
B011	Limentra di Treppio (Reno) a Suviana (diga del serbatoio)	8
B013	Quaderna (Reno) a Palesio	7
B014	Reno a Pracchia	17
B015	Reno a Molino di Pallone	11
C046	Diga di Tul	10
D003	Bagnone a Bagnone	8
D005	Bisagno a La Presa	35
D007	Graveglia a Caminata	24
D008	Impero a Rugge di Pontedassio	14
D012	Magra a Piccatello	9
D019	Sansobbia a Ponte Poggi	20
E003	Arno a Stia	4
E014	Bisenzio a Praticello	8
E019	Bovalico a San Mamiliano	8
E020	Brana a Burgianico	10
E025	Cornia a Frassine	13
E030	Farma a Ponte di Torniella	6
E032	Frigido a Canevara	30
E038	Massera a Molino del Balzone	11
E041	Milia a Grillandina	9
E043	Nievole a Colonna	15
E050	Pescia di Pescia a Molino Narducci	18
E051	Rio Sana a Cartiera Valgiano	7
E059	Sorgente di Villa Spada a Quiesa	16
G005	Feltrino a San Vito	6
G022	Zittola a Montenero	8
H027	Torano a Piedimonte d'Alife	10
L004	Anapo a San Nicola	4
L006	Baiata a Sapone	2
L014	Dittaino a Bozzetta	4
L015	Eleuterio a Lupo	12
L016	Eleuterio a Risalaimi	13
L017	Elicone a Falcone	6
L018	Fastaia a La China	5
L033	Nocella a Zucco	6
L034	Oreto a Parco	15
L039	San Biagio a Mandorleto	4
L052	Valle dell'Acqua a Serena	16

Tabella 5 - I 51 bacini risultati dall'analisi con il rispettivo numero di pluviometri attivi.

Successivamente, i bacini e i relativi pluviometri sono stati visualizzati tramite il software QGIS. Questo ha permesso di identificare rapidamente quanti pluviometri rientrano nell'area complessiva di ciascun bacino e di verificare che ciascun bacino disponesse di almeno un pluviometro attivo.

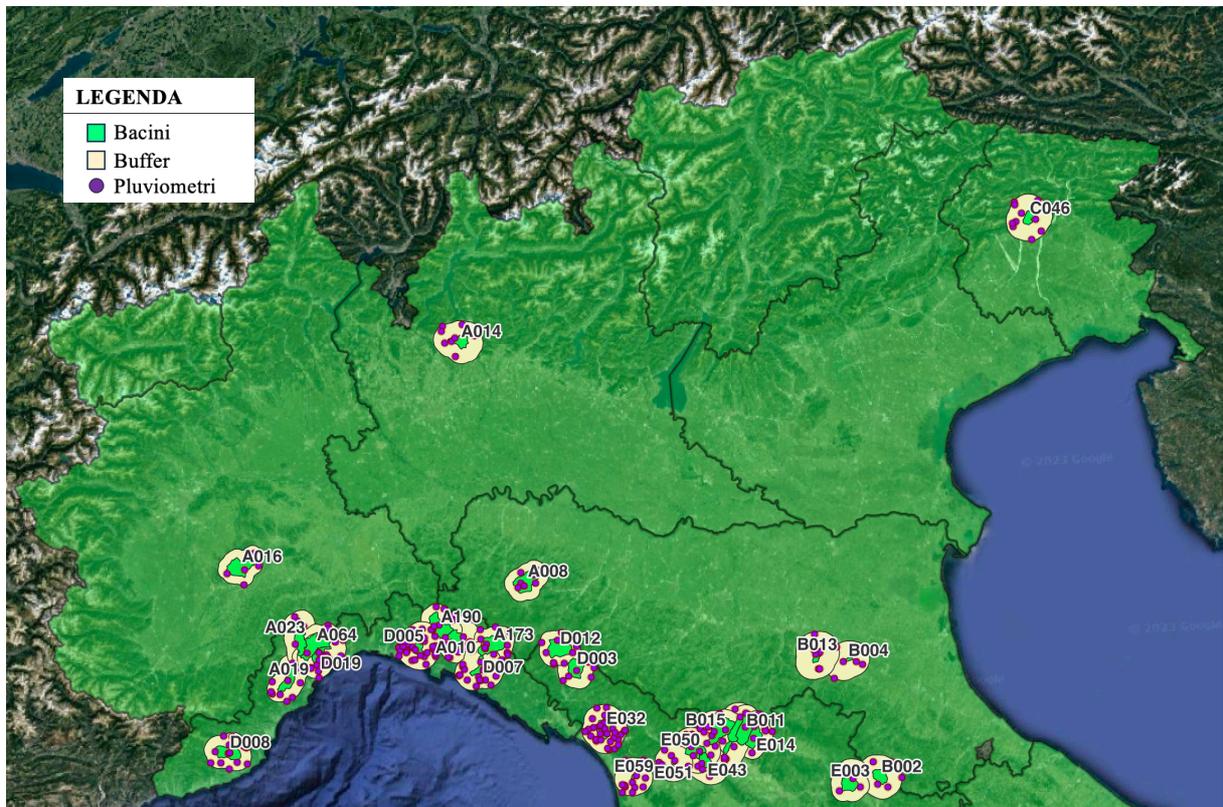


Figura 33 - Bacini risultati dall'analisi preliminare e pluviometri italiani (Nord Italia)

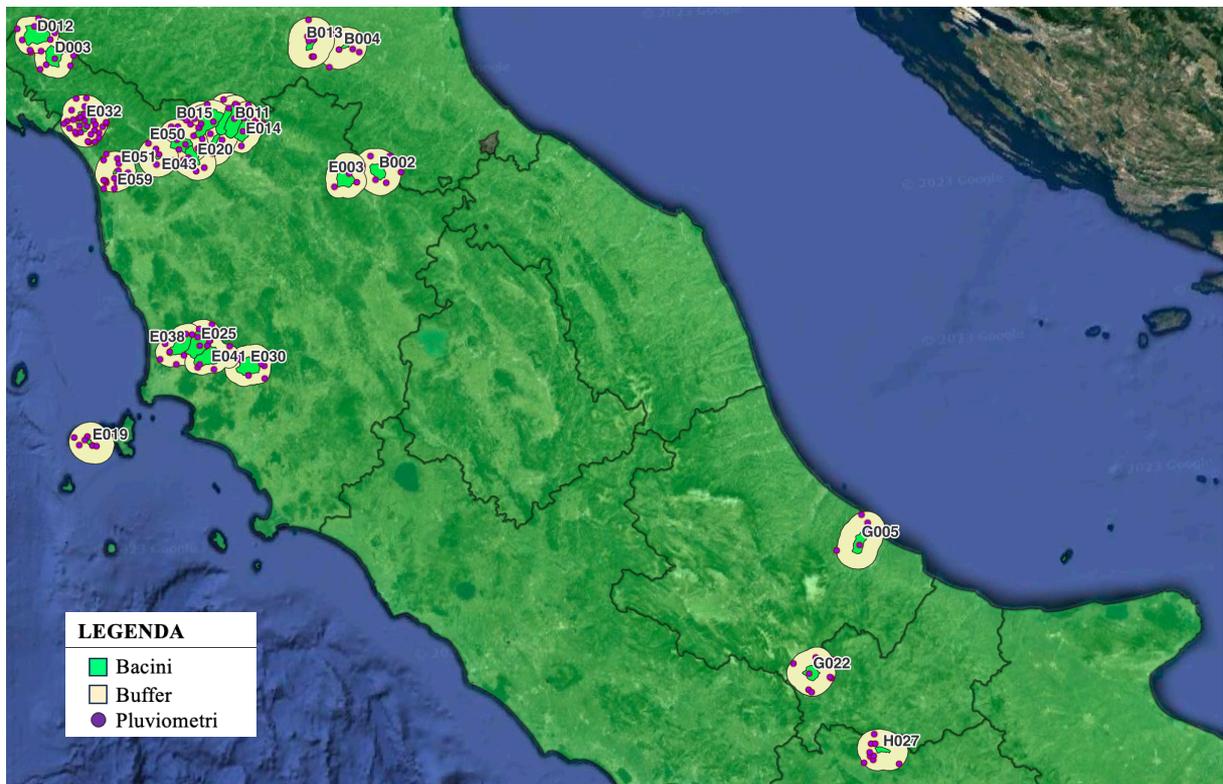


Figura 34 - Bacini risultati dall'analisi preliminare e pluviometri italiani (Centro Italia)

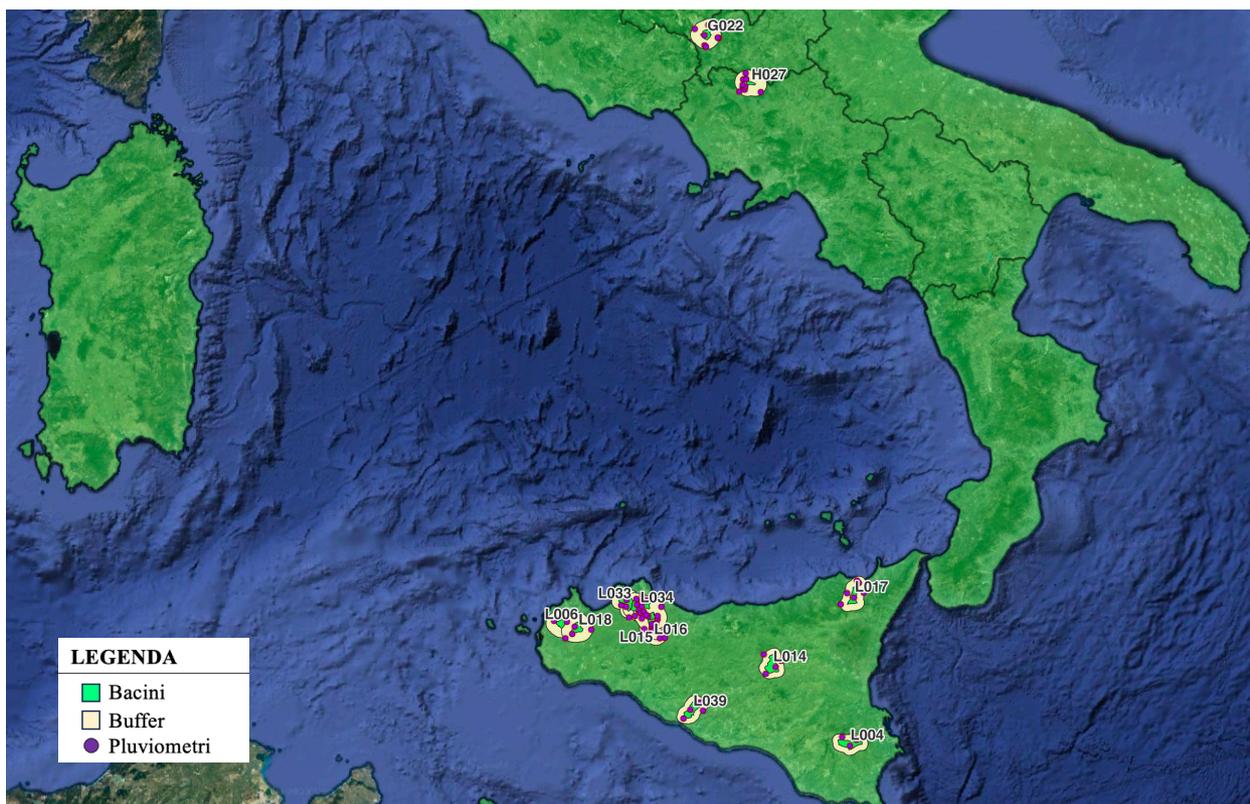


Figura 35 - Bacini risultati dall'analisi preliminare e pluviometri italiani (Sud Italia e Isole)

I pluviometri all'interno di ciascun bacino sono stati elencati in tabella e di seguito se ne mostra un estratto.

Codice Bacino	Nome Bacino	n°anni dati contemporanei	n°pluviometri attivi nell'area (con buffer)
A008	Arda a Mignano (diga del serbatoio)	71	7
Codice Pluviometro	Nome Pluviometro		
5037	Bore		
5069	Case_Bonini		
5177	Mignano_Diga		
5202	Morfasso		
5265	Rusteghini		
5284	San_Michele		
5321	Teruzzi		
Codice Bacino	Nome Bacino	n°anni dati contemporanei	n°pluviometri attivi nel buffer considerato
A014	Bevera a Colombaio	17	8
Codice Pluviometro	Nome Pluviometro		
9060	Casatenovo_Pr		
9063	Caslino_Erba		
9095	Costa_Masnaga		
9116	Erba		
9155	Lambrugo_P		
9206	Molteno		
9222	Olginate_Ca		
9324	Valmadrera		

Tabella 6 - Estratto della tabella contenente le informazioni sui pluviometri attivi per bacino.

3.2 MORFOMETRIA DEI BACINI SCELTI

Il bacino idrografico è “il luogo dei punti da cui le acque superficiali di provenienza meteorica ruscellano verso il medesimo collettore” (Puglisi, 1977). In termini più semplici, può essere definito come unità fisiografica che raccoglie i deflussi superficiali, originati dalle precipitazioni che si abbattano sul bacino stesso e che confluiscono verso la medesima sezione di chiusura.

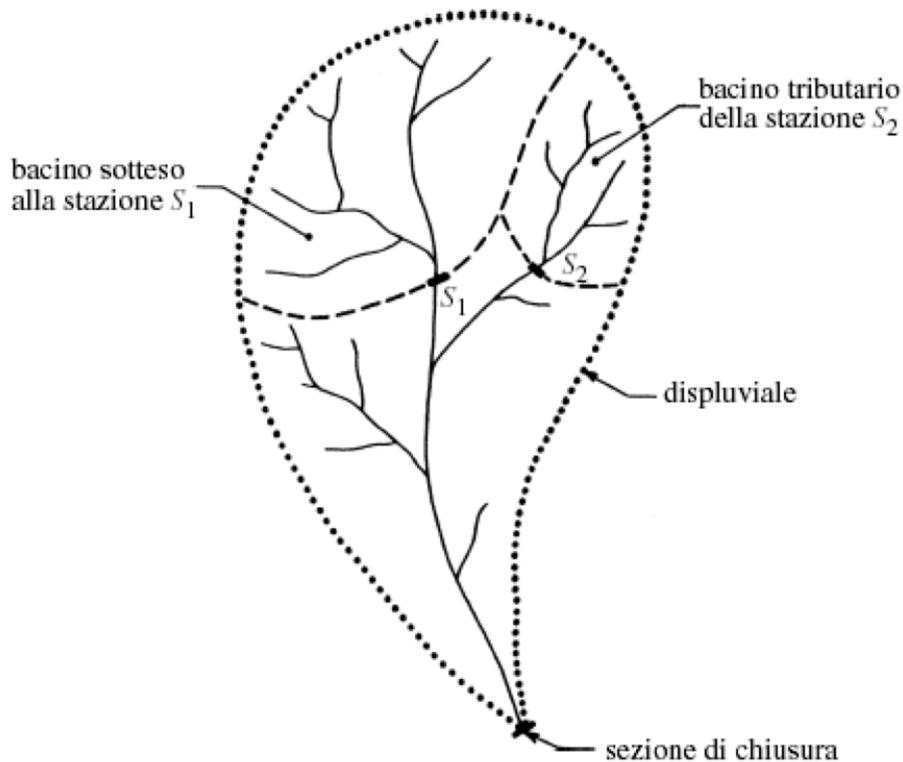


Figura 36 - Schematizzazione di un bacino idrografico

I bacini idrografici hanno diverse caratteristiche, ma qui ci concentreremo su quelle morfometriche, che sono fondamentali per calcolare i tempi di corrivazione. Spiegheremo questo concetto in un paragrafo successivo insieme alle relative formule.

La morfometria, o analisi geomorfica quantitativa, secondo una antica definizione è “una seconda elaborazione dei dati rilevati dalla geodesia e dalla topografia e da questa preliminarmente elaborati e consegnati in schemi, profili, carte e simili documenti, o quanto meno compensati dagli errori di osservazione, per ricavarne indici morfologici vari, ossia funzioni che forniscano con precisione e concisione indicazioni immediate delle forme della superficie terrestre, o altrimenti utili nelle pratiche applicazioni” (Istituzioni di Idronomia Montana, De Horatiis M., 1930), oppure potremmo anche dire che la morfometria “ha come oggetto la misura delle forme, ovvero delle caratteristiche geometriche del rilievo o di qualsiasi elemento naturale sia esso vegetale o animale” (Appunti di Morfometria, Puglisi S., 1986).

I modelli idrologici di tipo geomorfologico si fondano proprio sulla possibilità di ricostruire la risposta idrologica di un bacino (formazione dei deflussi), a seguito di una precipitazione che si abbatte su di esso, sulla base del legame che intercorre tra la suddetta risposta e i caratteri geomorfologici del bacino.

Ci sono diverse caratteristiche morfometriche rilevanti per la nostra analisi:

- Area (A): La dimensione complessiva del bacino, è espressa in km²;
- Lunghezza Asta Principale (L): nel bacino esiste il reticolo idrografico, ovvero quell'insieme di aste fluviali che esistono o si vengono a creare in seguito ad una precipitazione; l'asta principale è il più lungo di questi segmenti, ovvero quello che dallo spartiacque arriva alla sezione di chiusura con lo sviluppo maggiore, è espressa in m;
- Quota Massima del bacino (H_{max}): L'altitudine del punto più alto del bacino, è espressa in m s.l.m.;
- Quota Minima del bacino (H_{min}): L'altitudine del punto più basso del bacino, spesso corrispondente alla sezione di chiusura, anch'essa espressa in m s.l.m.;
- Quota Media del bacino (H_{med}): L'altitudine media del bacino, anch'essa espressa in m s.l.m.

Nella tabella seguente, sono elencate queste caratteristiche morfometriche per i 51 bacini in esame. Questi dati sono già disponibili nelle schede di ogni bacino all'interno del Catalogo delle Piene dei corsi d'acqua italiani, citato nel capitolo precedente, e quindi non è stato necessario cercarli nuovamente tramite software QGIS.

Codice Bacino	Nome Bacino	A [km ²]	H _{med} [m s.l.m.]	H _{max} [m s.l.m.]	H _{min} [m s.l.m.]	L [km]
A008	Arda a Mignano (diga del serbatoio)	87,22	757,0	1338,0	329,0	14,44
A010	Aveto (Tebbia) a Cabanne	39,66	989,0	1312,0	815,0	10,65
A014	Bevera a Colombaio	37,76	821,0	1428,0	385,0	8,46
A016	Borbore a San Damiano d'Asti	85,31	244,0	410,0	146,0	15,49
A019	Bormida di Mallare a Ferrania	50,40	604,0	1038,0	362,0	17,95
A023	Bormida di Spigno a Valla	68,46	468,0	837,0	293,0	19,85
A064	Erro (Bormida) a Sassello	91,30	595,0	1241,0	318,0	19,75
A173	Taro a Piane di Carniglia	90,27	967,0	1687,0	538,0	20,13
A190	Tebbia a Due Ponti	74,48	964,0	1560,0	642,0	14,18
B002	Bidente di Ridracoli a Ridracoli (diga del serbatoio)	31,27	922,0	1449,0	505,0	6,52
B004	Correcchio (Reno) a Contrada Il Portone	6,68	127,0	284,0	51,0	6,77
B009	Limentra di Riola (Reno) a Stagno	67,75	888,0	1295,0	489,0	17,18
B010	Limentra di Sambuca (Reno) a Pavana (diga del serbatoio)	39,29	920,0	1287,0	439,0	16,20
B011	Limentra di Treppio (Reno) a Suviana (diga del serbatoio)	77,36	858,0	1295,0	434,0	20,05
B013	Quaderna (Reno) a Palesio	23,31	273,0	596,0	100,0	8,51
B014	Reno a Pracchia	34,02	915,0	1577,0	610,0	10,77
B015	Reno a Molino di Pallone	81,18	948,0	1678,0	499,0	17,88
C046	Diga di Tul	23,96	706,0	1341,0	272,0	52,40
D003	Bagnone a Bagnone	52,81	845,0	1829,0	249,0	10,45
D005	Bisagno a La Presa	34,09	579,0	1013,0	175,0	8,31
D007	Graveglia a Caminata	41,10	616,0	1385,0	102,0	10,90
D008	Impero a Ruge di Pontedassio	68,62	535,0	1355,0	75,0	14,13
D012	Magra a Piccatello	78,36	834,0	1801,0	257,0	12,10

D019	Sansobbia a Ponte Poggi	31,68	514,0	1258,0	82,0	14,36
E003	Arno a Stia	61,66	888,0	1637,0	457,0	11,45
E014	Bisenzio a Praticello	55,46	698,0	1257,0	280,0	11,23
E019	Bovalico a San Mamiliano	6,81	310,0	849,0	3,0	4,07
E020	Brana a Burgianico	13,11	445,0	1118,0	95,0	5,89
E025	Cornia a Frassine	96,93	332,0	842,0	78,0	16,86
E030	Farma a Ponte di Torniella	68,29	475,0	777,0	314,0	15,49
E032	Frigido a Canevara	46,54	772,0	1828,0	107,0	8,13
E038	Massera a Molino del Balzone	55,78	224,0	555,0	72,0	10,32
E041	Milia a Grillandina	80,77	382,0	908,0	96,0	21,26
E043	Nievole a Colonna	31,77	390,0	886,0	34,0	11,22
E050	Pescia di Pescia a Molino Narducci	48,28	663,0	1114,0	227,0	9,37
E051	Rio Sana a Cartiera Valgiano	3,38	742,0	944,0	407,0	0,64
E059	Sorgente di Villa Spada a Quiesa	4,88	175,0	356,0	13,0	2,86
G005	Feltrino a San Vito	47,44	214,0	404,0	28,0	14,12
G022	Zittola a Montenero	33,90	936,0	1241,0	818,0	10,44
H027	Torano a Piedimonte d'Alife	5,41	977,0	1334,0	632,0	3,34
L004	Anapo a San Nicola	70,41	634,0	986,0	356,0	16,12
L006	Baiata a Sapone	29,15	113,0	383,0	44,0	5,90
L014	Dittaino a Bozzetta	80,72	553,0	1164,0	329,0	12,45
L015	Eleuterio a Lupo	11,19	728,0	1560,0	528,0	4,24
L016	Eleuterio a Risalaimi	84,41	631,0	1560,0	198,0	14,04
L017	Elicone a Falcone	54,85	710,0	1311,0	30,0	17,52
L018	Fastaia a La China	36,05	313,0	751,0	210,0	9,84
L033	Nocella a Zucco	56,37	540,0	1186,0	80,0	11,05
L034	Oreto a Parco	74,99	594,0	1285,0	104,0	11,60
L039	San Biagio a Mandorleto	74,86	351,0	607,0	92,0	14,83
L052	Valle dell'Acqua a Serena	21,37	647,0	1005,0	303,0	6,08

Tabella 7 - Caratteristiche morfometriche bacini

Si riporta, a titolo di esempio, la parte interessata della scheda stazione riguardante le caratteristiche morfometriche del bacino idrografico “Aveto a Cabanne”.

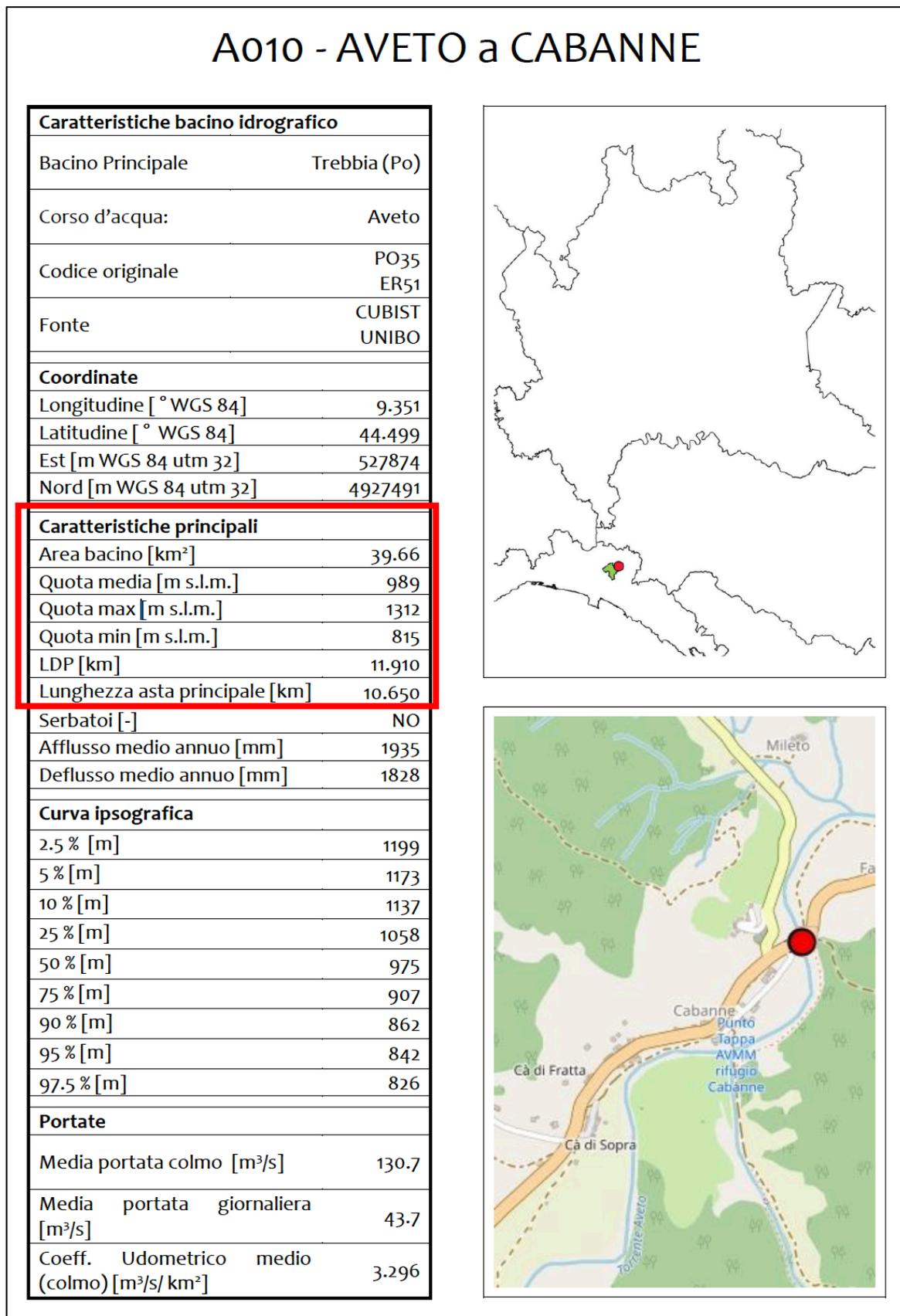


Figura 37 - Estratto parte I della scheda stazione “Aveto a Cabanne” del Catalogo delle piene dei corsi d'acqua italiani – Fonte: Catalogo delle piene dei corsi d'acqua Italiani (Claps P., D. Ganora, A. Apostolo, I. Brignolo, I. Monforte, 2020)

3.3 STIMA DEI TEMPI DI CORRIVAZIONE

Il tempo di corrivazione t_c , considerato come un elemento distintivo del bacino, funzione delle sue caratteristiche quali: estensione, lunghezza, forma, pendenza, tipologia del terreno, è definito come il tempo impiegato dalla particella di acqua, caduta nel punto idraulicamente più lontano, per giungere alla sezione di chiusura. Oppure, può essere anche definito come quell'intervallo di tempo necessario affinché, alla sezione di chiusura del bacino, giungano tutti i contributi di tutte le parti o aree che formano il bacino stesso, e che sono tutte sottoposte ad una precipitazione di altezza h e di intensità media i (calcolata come $i = h/t$), ovvero costante nella durata t .

Il concetto di tempo di corrivazione consente di spiegare perché la piena si verifica proprio se l'evento meteorico ha una durata almeno pari al tempo di corrivazione, dato che in questo caso tutta l'area scolante contribuisce ai fini del deflusso superficiale e inoltre, permette di giustificare perché nei piccoli bacini sono sufficienti piogge brevi per determinare eventi di piena.

Per il calcolo del tempo di corrivazione, parametro oggetto di molte incertezze, negli anni sono state introdotte numerose formulazioni empiriche derivate da modelli basati su bacini reali, la cui applicazione è legata alla ricerca di una somiglianza tra il caso in esame e il modello. Nel presente elaborato si è deciso di utilizzare la formula di Giandotti (1934), frequentemente utilizzata in Italia:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{H_{med} - H_{min}}}$$

In cui:

- t_c è il tempo di corrivazione (h)
- A è l'area del bacino (km²)
- L è la lunghezza dell'asta principale (km)
- H_{med} è la quota media del bacino (m s.l.m.)
- H_{min} è la quota della sezione di chiusura del bacino (m s.l.m.)

I risultati per i 51 bacini oggetto di studio sono riportati in tabella.

Codice Bacino	Nome Bacino	Tempo di corrivazione (Giandotti) [h]
A008	Arda a Mignano (diga del serbatoio)	3,57
A010	Aveto (Tebbia) a Cabanne	3,90
A014	Bevera a Colombaio	2,23
A016	Borbore a San Damiano d'Asti	7,60
A019	Bormida di Mallare a Ferrania	4,45
A023	Bormida di Spigno a Valla	5,94
A064	Erro (Bormida) a Sassello	5,10
A173	Taro a Piane di Carniglia	4,12
A190	Tebbia a Due Ponti	3,89
B002	Bidente di Ridracoli a Ridracoli (diga del serbatoio)	1,97
B004	Correcchio (Reno) a Contrada Il Portone	2,94
B009	Limentra di Riola (Reno) a Stagno	3,67

B010	Limentra di Sambuca (Reno) a Pavana (diga del serbatoio)	2,81
B011	Limentra di Treppio (Reno) a Suviana (diga del serbatoio)	3,96
B013	Quaderna (Reno) a Palesio	3,05
B014	Reno a Pracchia	2,83
B015	Reno a Molino di Pallone	3,71
C046	Diga di Tul	5,89
D003	Bagnone a Bagnone	2,29
D005	Bisagno a La Presa	2,23
D007	Graveglia a Caminata	2,32
D008	Impero a Ruge di Pontedassio	3,17
D012	Magra a Piccatello	2,79
D019	Sansobbia a Ponte Poggi	2,65
E003	Arno a Stia	2,93
E014	Bisenzio a Praticello	2,85
E019	Bovalico a San Mamiliano	1,18
E020	Brana a Burgianico	1,56
E025	Cornia a Frassine	5,07
E030	Farma a Ponte di Torniella	5,55
E032	Frigido a Canevara	1,91
E038	Massera a Molino del Balzone	4,60
E041	Milia a Grillandina	5,01
E043	Nievole a Colonna	2,61
E050	Pescia di Pescia a Molino Narducci	2,51
E051	Rio Sana a Cartiera Valgiano	0,57
E059	Sorgente di Villa Spada a Quiesa	1,29
G005	Feltrino a San Vito	4,47
G022	Zittola a Montenero	4,48
H027	Torano a Piedimonte d'Alife	0,96
L004	Anapo a San Nicola	4,33
L006	Baiata a Sapone	4,58
L014	Dittaino a Bozzetta	4,56
L015	Eleuterio a Lupo	1,74
L016	Eleuterio a Risalaimi	3,47
L017	Elicone a Falcone	2,68
L018	Fastai a La China	4,78
L033	Nocella a Zucco	2,72
L034	Oreto a Parco	2,94
L039	San Biagio a Mandorleto	4,42
L052	Valle dell'Acqua a Serena	1,86

Tabella 8 - Tempi di corrivazione dei bacini oggetto di studio

I tempi di corrivazione sono stati quindi approssimati alla durata più vicina tra 1, 3, 6, 12 e 24 ore, per definire una durata di riferimento per ciascun bacino. Questo passaggio prepara le analisi future e aiuta a stabilire la durata degli eventi meteorici di massima intensità per ciascun bacino. Dato che si tratta di bacini di piccole dimensioni ($A < 100 \text{ km}^2$), la maggior parte ha una durata di riferimento di 3 ore, alcuni di 1 ora e pochi di 6 ore. Per una visualizzazione più agevole, i dettagli sono riportati nella tabella sottostante.

Durata di riferimento [h]		
1 h	3 h	6 h
Codice Bacino		
B002	A008	A016
E019	A010	A023
E020	A014	A064
E032	A019	C046
E051	A173	E025
E059	A190	E030
H027	B004	E041
L015	B009	
L052	B010	
	B011	
	B013	
	B014	
	B015	
	D003	
	D005	
	D007	
	D008	
	D012	
	D019	
	E003	
	E014	
	E038	
	E043	
	E050	
	G005	
	G022	
	L004	
	L006	
	L014	
	L016	
	L017	
	L018	
	L033	
	L034	
	L039	

Tabella 9 - Durata di riferimento degli eventi meteorici di massima intensità (pari a 1, 3 e 6 ore)

4. APPROCCI E METODOLOGIE

In questo capitolo, illustreremo gli approcci utilizzati per accedere alle fonti citate nel Capitolo 2 e le metodologie impiegate per selezionare i dati. In particolare, vedremo come abbiamo cercato la corrispondenza temporale tra i massimi di portata giornaliera e i massimi di precipitazione. Successivamente, spiegheremo come abbiamo stimato la precipitazione areale utilizzando il metodo di interpolazione spaziale noto come IDW (*Inverse Distance Weighting*). Infine, spiegheremo in dettaglio i metodi impiegati per calcolare i coefficienti di deflusso.

4.1 METODO DI SELEZIONE DEI DATI: CORRISPONDENZA TEMPORALE TRA PORTATE E PRECIPITAZIONI

Il processo di selezione dei dati, che ha portato alla creazione del nostro database iniziale, si è concentrato principalmente sulla ricerca della corrispondenza temporale tra i massimi di portata e i massimi di precipitazione per ogni anno di osservazione e per ciascuno dei 51 bacini selezionati.

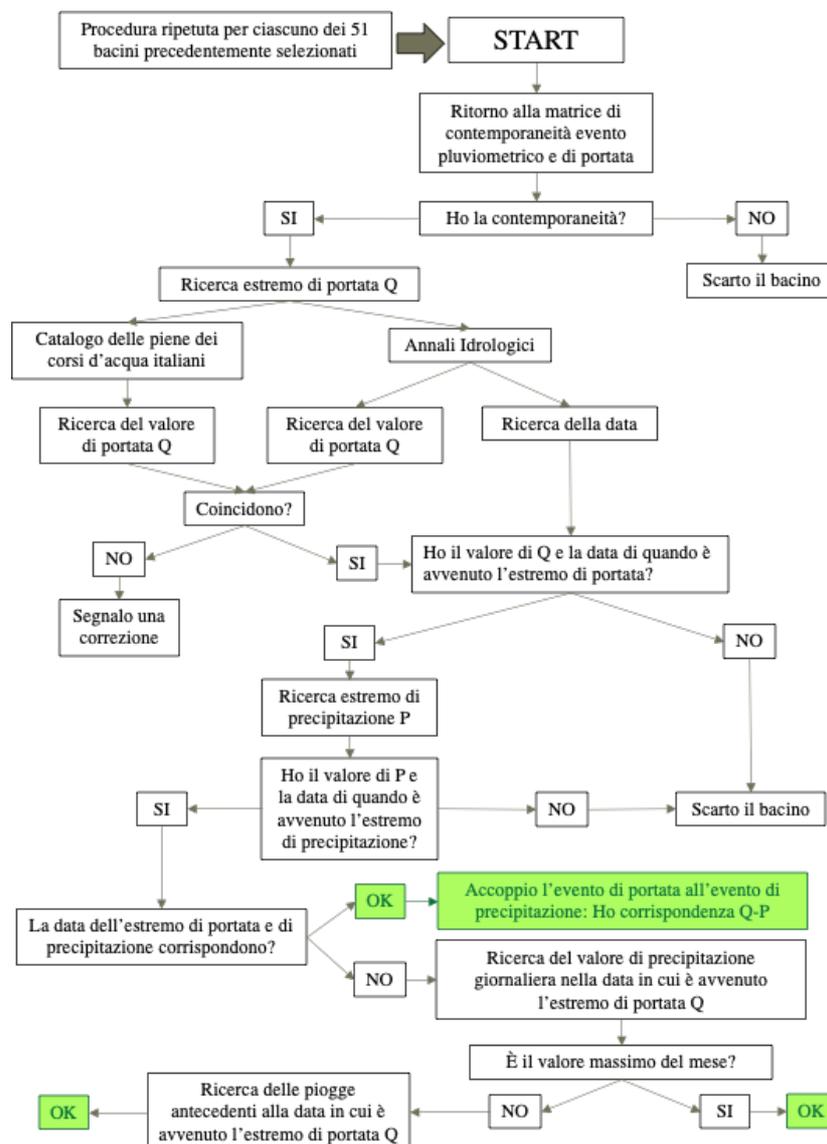


Figura 38 - Procedura di valutazione delle corrispondenze portate-precipitazioni

- **Vol.3** – Distretti **Napoli**: H027; **Palermo**: L004, L006, L014, L015, L016, L017, L018, L033, L034, L039, L052.

Per ciascun bacino selezionato, abbiamo inserito in una tabella il valore della massima portata giornaliera e la data in cui è stata registrata. Durante il confronto tra le due fonti, eventuali errori o anomalie sono stati segnalati e abbiamo considerato validi i valori presenti negli Annali Idrologici.

Tuttavia, se per un determinato anno mancavano i dati temporali (giorno e mese), abbiamo scartato quei dati in quanto non potevamo procedere con la valutazione delle corrispondenze tra le portate e le precipitazioni. Si riporta in seguito un estratto delle tabelle contenenti i valori della massima portata giornaliera e delle date corrispondenti per ciascun bacino, al fine di illustrare questi tre scenari.

Codice Bacino	Nome Bacino	n°anni dati contemporanei
A014	Bevera a Colombaio	17

Analisi dei dati delle Portate Q:

Tutte le Q_{\max} giornaliera sono state confrontate con il catalogo delle piene.

Catalogo delle Piene	
Anno	Q_{\max} giornaliera [m ³ /s]
1954	6,6
1955	3,9
1956	7,4
1957	7,9
1958	6,6
1959	6,1
1960	17,6
1961	9,4
1962	11
1963	13,6
1964	7,4
1965	6,6
1966	9,2
1967	6,9
1968	10,4
1969	4,6
1970	6,1

Annali Idrologici: Data delle portate max giornaliera		
Giorno	Mese	Q_{\max} giornaliera [m ³ /s]
10	Dicembre	6,55
21	Ottobre	3,92
23	Marzo	7,35
10	Novembre	7,86
22	Dicembre	6,64
29	Ottobre	6,14
19	Settembre	17,60
29	Maggio	9,38
20	Giugno	11,00
6	Novembre	13,60
3	Aprile	7,44
2	Settembre	6,57
29	Ottobre	9,17
10	Aprile	6,87
3	Novembre	10,40
24	Febbraio	4,57
11	Settembre	6,39

Tabella 10 - Valori di portata massima giornaliera e delle relative date.

Codice Bacino	Nome Bacino	n°anni dati contemporanei
A010	Aveto (Tebbia) a Cabanne	17

Analisi dei dati delle Portate Q: Tutte le $Q_{max\ giornaliera}$ sono state confrontate con il catalogo delle piene.

Catalogo delle Piene	
Anno	$Q_{max\ giornaliera}$ [m ³ /s]
1951	83,1
1952	31,4
1954	39,4
1955	18,8
1956	44,2
1957	45,7
1958	60,1
1959	78,6
1960	34,8
1961	37,7
1962	41,9
1963	45,6
1964	25,5
1965	29,3
1966	27,0
1967	46,0
1968	49,6

Annali Idrologici: Data delle portate max giornaliere		
Giorno	Mese	$Q_{max\ giornaliera}$ [m ³ /s]
19	Novembre	83,1
21	Ottobre	35,4
29	Novembre	39,4
7	Gennaio	18,8
23	Marzo	44,2
13	Dicembre	45,7
20	Dicembre	60,1
27	Ottobre	78,6
6	Dicembre	34,8
31	Dicembre	37,7
18	Aprile	41,9
12	Marzo	45,6
30	Novembre	25,5
21	Novembre	29,3
2	Dicembre	27,0
5	Novembre	46,0
24	Febbraio	49,6

Tabella 11 - Valori di portata massima giornaliera e delle relative date - Esempio valore di portata errato e segnalato.

Codice Bacino	Nome Bacino	n°anni dati contemporanei
A173	Taro a Piane di Carniglia	29

Analisi dei dati delle Portate Q: Tutte le $Q_{max\ giornaliera}$ sono state confrontate con il catalogo delle piene.

Catalogo delle Piene	
Anno	$Q_{max\ giornaliera}$ [m ³ /s]
1934	66,4
1935	81,4
1936	70,5
1937	104,0
1938	96,0
1939	71,1
1940	154,0
1941	70,4
1942	29,3
1943	45,6
1944	-
1945	-
1947	-
1948	-
1949	121,0
1950	82,5
1951	87,9
1952	95,2
1953	67,2
1954	49,8
1955	39,9
1956	58,4
1957	67,0
1958	67,7
1959	71,9
1960	57,6
1961	69,3
1962	59,8
1963	64,7

Annali Idrologici: Data delle portate max giornaliere		
Giorno	Mese	$Q_{max\ giornaliera}$ [m ³ /s]
	Giugno	66,4
26	Dicembre	81,4
22	Gennaio	70,5
14	Marzo	104,0
9	Settembre	96,0
4	Novembre	71,1
17	Novembre	154,0
8	Marzo	70,4
7	Novembre	29,3
2	Febbraio	45,6
2	Gennaio	121,0
22	Novembre	82,5
12	Novembre	87,9
21	Ottobre	95,2
15	Ottobre	67,2
2	Dicembre	49,8
18	Febbraio	39,9
3	Marzo	58,4
13	Dicembre	67,0
20	Dicembre	67,7
18	Novembre	71,9
15	Marzo	57,6
14	Novembre	69,3
5	Marzo	59,8
4	Dicembre	64,7

Non ho la data
Non c'è il bacino negli annali.
Non c'è il bacino negli annali.
Non c'è il bacino negli annali.
Non c'è il bacino negli annali.

Tabella 12 - Valori di portata massima giornaliera e delle relative date - Esempio mancanza date e/o valori: anni scartati.

A causa della complessità del lavoro e del grande volume di dati da ricercare, abbiamo deciso di circoscrivere la nostra ricerca agli anni di osservazione presenti negli Annali Idrologici. Questa scelta è stata motivata sia dalla necessità di utilizzare dati storici nel nostro lavoro, sia dalla volontà di evitare un prolungamento eccessivo delle analisi causato dalla ricerca delle date di registrazione degli estremi di portata e precipitazione in database regionali di tutta Italia.

Di conseguenza, il numero di bacini è stato ridotto da 51 a 45, il numero definitivo di bacini oggetto del nostro studio. In particolare, sono stati esclusi i seguenti bacini: A016 a causa degli anni di osservazione post 2000 e i bacini A023, B002, B010, B011 e C046 a causa della loro assenza negli Annali Idrologici.

In tabella, sono elencati i 45 bacini risultanti da questa selezione.

Codice Bacino	Nome Bacino
A008	Arda a Mignano (diga del serbatoio)
A010	Aveto (Tebbia) a Cabanne
A014	Bevera a Colombaio
A019	Bormida di Mallare a Ferrania
A064	Erro (Bormida) a Sassello
A173	Taro a Piane di Carniglia
A190	Tebbia a Due Ponti
B004	Correcchio (Reno) a Contrada Il Portone
B009	Limentra di Riola (Reno) a Stagno
B013	Quaderna (Reno) a Palesio
B014	Reno a Pracchia
B015	Reno a Molino di Pallone
D003	Bagnone a Bagnone
D005	Bisagno a La Presa
D007	Graveglia a Caminata
D008	Impero a Ruggie di Pontedassio
D012	Magra a Piccatello
D019	Sansobbia a Ponte Poggi
E003	Arno a Stia
E014	Bisenzio a Praticello
E019	Bovalico a San Mamiliano
E020	Brana a Burgianico
E025	Cornia a Frassine
E030	Farma a Ponte di Toriella
E032	Frigido a Canevara
E038	Massera a Molino del Balzone
E041	Milia a Grillandina
E043	Nievole a Colonna
E050	Pescia di Pescia a Molino Narducci
E051	Rio Sana a Cartiera Valgiano
E059	Sorgente di Villa Spada a Quiesa
G005	Feltrino a San Vito
G022	Zittola a Montenero

H027	Torano a Piedimonte d'Alife
L004	Anapo a San Nicola
L006	Baiata a Sapone
L014	Dittaino a Bozzetta
L015	Eleuterio a Lupo
L016	Eleuterio a Risalaimi
L017	Elicone a Falcone
L018	Fastaia a La China
L033	Nocella a Zucco
L034	Oreto a Parco
L039	San Biagio a Mandorleto
L052	Valle dell'Acqua a Serena

Tabella 13 - I 45 bacini oggetto di studio del presente elaborato con cui proseguiranno le analisi.

4.1.2 Selezione dei valori di precipitazione

Dopo aver ottenuto i valori della portata massima e le rispettive date, per ciascuno dei 45 bacini che soddisfacevano i requisiti, si è proseguiti nella ricerca del valore estremo di precipitazione e, in particolare, dagli Annali Idrologici sono stati estratti i valori di precipitazione sub-giornaliera di massima intensità per le durate di riferimento di ciascun bacino, precedentemente ricavate nel Capitolo 3.

Più nello specifico, per ciascun anno di osservazione in cui nel punto precedente dell'analisi era stato trovato sia il dato della portata massima giornaliera che la relativa data, sono stati analizzati i pluviometri attivi nell'area d'indagine complessiva di 400-500 km² ($A_{TOT} = A_{BACINO} + A_{BUFFER}$): facendo combaciare, quindi, i pluviometri attivi negli anni di accadimento degli eventi con gli anni di effettivo interesse, per alcuni bacini si è ristretto il range di pluviometri attivi, pur rimanendo questo molto elevato. Si riporta nella tabella sottostante un estratto della scheda relativa ai bacini del Distretto di Parma (bacini costituiti da una prima lettera che indica il distretto di riferimento, ad esempio "A" indica il Distretto di Parma e da un codice numerico che li identifica, ad esempio "A008" codice del bacino "Arda a Mignano) e una scheda riassuntiva di tutti i bacini:

Codice Bacino	Nome Bacino
A008	Arda a Mignano (diga del serbatoio)

n°anni dati contemporanei	n°pluviometri attivi nel buffer considerato
71	7

Codice Pluviometro	Nome Pluviometro
5037	Bore
5069	Case_Bonini
5177	Mignano_Diga
5202	Morfasso
5265	Rusteghini
5284	San_Michele
5321	Teruzzi

n°anni di interesse (in cui ho valore e data di Q)	n°pluviometri attivi negli anni di interesse del bacino
16	1

Tabella 14 - Pluviometri attivi effettivi negli anni di interesse per il bacino A008.

Codice Bacino	Nome Bacino
A010	Aveto (Trebbia) a Cabanne

n°anni dati contemporanei	n°pluviometri attivi nel buffer considerato
17	18

Codice Pluviometro	Nome Pluviometro
8014	Barbagelata
8028	Brugneto_Diga
8032	Cabanne
8064	Cichero
8085	Croce_Orero
8094	Favale_Di_Malvaro
8118	Giacopiane - Diga (Già Giacopiane)
8119	Giacopiane - Lago
8137	Loco_Carchelli
8170	Neirone
8172	Ognio
8183	Pian_Dej_Ratti
8186	Piana_Di_Soglio
8208	Rovegno
8214	S_Michele
8230	Sella_Giassina
8247	Tigliolo
8248	Torriglia - Idrografico

n°anni di interesse (in cui ho valore e data di Q)	n°pluviometri attivi negli anni di interesse del bacino
17	10

Tabella 15 - Pluviometri attivi effettivi negli anni di interesse per il bacino A010

Codice Bacino	Nome Bacino
A014	Bevera a Colombaio

n°anni dati contemporanei	n°pluviometri attivi nel buffer considerato
17	8

Codice Pluviometro	Nome Pluviometro
9060	Casatenovo_Pr
9063	Caslino_Erba
9095	Costa_Masnaga
9116	Erba
9155	Lambrugo_P
9206	Molteno
9222	Olginate_Ca
9324	Valmadrera

n°anni di interesse (in cui ho valore e data di Q)	n°pluviometri attivi negli anni di interesse del bacino
17	2

Tabella 16 - Pluviometri attivi effettivi negli anni di interesse per il bacino A014

Codice Bacino	Nome Bacino
A019	Bormida di Mallare a Ferrania

n°anni dati contemporanei	n°pluviometri attivi nel buffer considerato
20	11

Codice Pluviometro	Nome Pluviometro
8009	Altare (Già Sella Di Savona)
8035	Calice_Ligure
8072	Colle_Del_Melogno
8073	Colle_Di_Cadibona
8095	Feglino
8142	Mallare
8155	Montagna
8165	Monte_Settepani
8174	Osiglia
8203	Rialto
8273	Ferrania

n°anni di interesse (in cui ho valore e data di Q)	n°pluviometri attivi negli anni di interesse del bacino
18	4

Tabella 17 - Pluviometri attivi effettivi negli anni di interesse per il bacino A019

Codice Bacino	Nome Bacino
A064	Erro (Bormida) a Sassello
Codice Pluviometro	Nome Pluviometro
8008	Alpicella
8166	Montenotte_Inferiore
8182	Piampaludo
8219	Santuario
8223	Sassello
8235	Stella_S_Bernardo
8236	Stella_S_Giustina - Idrografico
8237	Stella_S_Giustina
8251	Urbe - Idrografico
12291	Piancastagna
12306	Ponzone_Bric_Berton

n°anni dati contemporanei	n°pluviometri attivi nel buffer considerato
16	11

n°anni di interesse (in cui ho valore e data di Q)	n°pluviometri attivi negli anni di interesse del bacino
14	6

Tabella 18 - Pluviometri attivi effettivi negli anni di interesse per il bacino A064

Codice Bacino	Nome Bacino
A173	Taro a Piane di Carniglia
Codice Pluviometro	Nome Pluviometro
5021	Bedonia
5068	Casalporino
5290	Santa_Maria_Del_Taro
5317	Strinabecco
5319	Tarsogno
5358	Casoni_di_Santa_Maria_del_Taro
8025	Borzone
8179	Passo_Cento_Croci
8202	Reppia
8214	S_Michele
8227	Scurtabò
8242	Taglieto
8266	Amborzasco
8279	Pratomollo

n°anni dati contemporanei	n°pluviometri attivi nel buffer considerato
29	14

n°anni di interesse (in cui ho valore e data di Q)	n°pluviometri attivi negli anni di interesse del bacino
24	4

Tabella 19 - Pluviometri attivi effettivi negli anni di interesse per il bacino A173

Codice Bacino	Nome Bacino
A190	Trebbia a Due Ponti
Codice Pluviometro	Nome Pluviometro
8005	Alpe_Gorreto
8014	Barbagelata
8028	Brugneto_Diga
8094	Favale_Di_Malvaro
8137	Loco_Carchelli
8226	Scoffera
8230	Sella_Giassina
8248	Torriglia - Idrografico
8249	Torriglia
8280	Torriglia - Garaventa
12381	Piani_Di_Carrega

n°anni dati contemporanei	n°pluviometri attivi nel buffer considerato
21	11

n°anni di interesse (in cui ho valore e data di Q)	n°pluviometri attivi negli anni di interesse del bacino
18	4

Tabella 20 - Pluviometri attivi effettivi negli anni di interesse per il bacino A190

Codice Bacino	Nome Bacino	n°anni dati contemporanei	n°pluviometri attivi nel buffer considerato	n°anni di interesse (in cui ho valore e data di Q)	n°pluviometri attivi negli anni di interesse del bacino	
A008	Arda a Mignano (diga del serbatoio)	71	7	16	1	
A010	Aveto (Trebbia) a Cabanne	17	18	17	10	
A014	Bevera a Colombaio	17	8	17	2	
A019	Bormida di Mallare a Ferrania	20	11	18	4	
A064	Erro (Bormida) a Sassello	16	11	14	6	
A173	Taro a Piane di Carniglia	29	14	24	4	
A190	Trebbia a Due Ponti	21	11	18	4	
B004	Correcchio (Reno) a Contrada Il Portone	27	5	26	3	
B009	Limentra di Riola (Reno) a Stagno	28	8	26	3	
B013	Quaderna (Reno) a Palesio	25	7	23	5	
B014	Reno a Pracchia	61	17	45	6	
B015	Reno a Molino di Pallone	26	11	26	4	
D003	Bagnone a Bagnone	23	8	21	4	
D005	Bisagno a La Presa	32	35	27	15	
D007	Graveglia a Caminata	23	24	22	10	
D008	Impero a Ruge di Pontedassio	24	14	23	7	
D012	Magra a Piccatello	21	9	20	4	
D019	Sansobbia a Ponte Poggi	33	20	32	11	
E003	Arno a Stia	38	4	32	4	
E014	Bisenzio a Praticello	42	8	17	4	
E019	Bovalico a San Mamiliano	22	8	22	7	
E020	Brana a Burgianico	25	10	18	5	
E025	Cornia a Frassine	16	13	16	9	
E030	Farma a Ponte di Toriella	40	6	35	3	
E032	Frigido a Canevara	50	30	23	11	
E038	Massera a Molino del Balzone	27	11	20	10	
E041	Milia a Grillandina	17	9	13	6	
E043	Nievole a Colonna	33	15	30	10	
E050	Pescia di Pescia a Molino Narducci	34	18	15	9	
E051	Rio Sana a Cartiera Valgiano	19	7	19	5	
E059	Sorgente di Villa Spada a Quiesa	45	16	21	6	
G005	Feltrino a San Vito	19	6	19	2	
G022	Zittola a Montenero	25	8	25	2	
H027	Torano a Piedimonte d'Alife	22	10	22	4	
L004	Anapo a San Nicola	23	4	23	4	
L006	Baiata a Sapone	16	2	16	1	
L014	Dittaino a Bozzetta	17	4	17	3	
L015	Eleuterio a Lupo	53	12	44	11	
L016	Eleuterio a Risalaimi	28	13	28	10	
L017	Elicone a Falcone	16	6	16	6	
L018	Fastaia a La China	34	5	32	5	
L033	Nocella a Zucco	41	6	34	5	
L034	Oreto a Parco	76	15	66	14	
L039	San Biagio a Mandorleto	20	4	20	3	
L052	Valle dell'Acqua a Serena	38	16	34	16	
				1092	278	TOT

 Bacini per i quali il numero di pluviometri attivi è maggiore di 4

Tabella 21 - Pluviometri attivi effettivi negli anni di interesse dei 45 bacini

Come si può notare dalla tabella sopra riportata, oltre il 50% dei bacini presenta più di 4 pluviometri attivi per anno di interesse (25 casi su 45, evidenziati in giallo nella tabella). Questo significa che ci sono complessivamente 1092 anni di interesse e 278 pluviometri totali da cui estrarre i valori di precipitazione sub-giornaliera di massima intensità per le diverse durate di riferimento di ciascun bacino. È importante notare che alcuni pluviometri sono stati conteggiati più volte, poiché gli anni di interesse per ciascun bacino non coincidono sempre.

Considerando la complessità del lavoro e la vastità dei dati da esaminare, abbiamo deciso di semplificare ulteriormente il processo. Abbiamo ridotto l'area di interesse per ciascun bacino in modo da poter analizzare un numero di pluviometri attivi variabile da 1 a un massimo di 4. Per fare ciò, abbiamo modificato il buffer inizialmente applicato a ciascun bacino, che era variabile al fine di ottenere un'area totale compresa tra 400 e

500 km². Successivamente, abbiamo fissato il buffer a 3 km (rendendo variabile l'area totale di ciascun bacino, calcolata come $A_{TOT} = A_{BACINO} + A_{(BUFFER\ 3km)}$). In seguito, per i casi in cui il numero di pluviometri attivi rimaneva ancora troppo elevato, abbiamo ulteriormente ridotto il buffer da 3 km a 2 km. Dopo aver applicato questa ulteriore modifica, abbiamo analizzato i risultati e tratto alcune considerazioni, che per semplicità vengono riportate alla fine della tabella successiva, dove vengono presentati i valori ottenuti grazie all'applicazione del nuovo buffer.

Codice Bacino	Nome Bacino	n°pluviometri attivi con buffer variabile	n°pluviometri attivi con buffer di 3 km	n°pluviometri attivi con buffer di 2 km	n°pluviometri attivi considerati
A008	Arda a Mignano (diga del serbatoio)	1	1	-	1
A010	Aveto (Tebbia) a Cabanne	10	3	-	3
A014	Bevera a Colombaio	2	1	-	2
A019	Bormida di Mallare a Ferrania	4	3	-	3
A064	Erro (Bormida) a Sassello	6	3	-	3
A173	Taro a Piane di Carniglia	4	3	-	4
A190	Tebbia a Due Ponti	4	3	-	4
B004	Correcchio (Reno) a Contrada Il Portone	3	2	-	3
B009	Limentra di Riola (Reno) a Stagno	3	2	-	3
B013	Quaderna (Reno) a Palesio	5	2	-	5
B014	Reno a Pracchia	6	3	-	3
B015	Reno a Molino di Pallone	4	3	-	3
D003	Bagnone a Bagnone	4	2	-	4
D005	Bisagno a La Presa	15	6	4	6
D007	Graveglia a Caminata	10	2	-	2
D008	Impero a Ruge di Pontedassio	7	5	-	5
D012	Magra a Piccatello	4	3	-	4
D019	Sansobbia a Ponte Poggi	11	4	-	4
E003	Arno a Stia	4	3	-	3
E014	Bisenzio a Praticello	4	3	-	3
E019	Bovalico a San Mamiliano	7	3	-	3
E020	Brana a Burgianico	5	4	-	4
E025	Cornia a Frassine	9	8	6	6
E030	Farma a Ponte di Torniella	3	3	-	3
E032	Frigido a Canevara	11	4	-	4
E038	Massera a Molino del Balzone	10	6	3	3
E041	Milia a Grillandina	6	5	3	3
E043	Nievole a Colonna	10	5	3	3
E050	Pescia di Pescia a Molino Narducci	9	6	2	2
E051	Rio Sana a Cartiera Valgiano	5	2	-	5
E059	Sorgente di Villa Spada a Quiesa	6	1	-	6
G005	Feltrino a San Vito	2	1	-	2
G022	Zittola a Montenero	2	1	-	2
H027	Torano a Piedimonte d'Alife	4	3	-	4
L004	Anapo a San Nicola	4	4	-	4
L006	Baiata a Sapone	1	1	-	1
L014	Dittaino a Bozzetta	3	1	-	3
L015	Eleuterio a Lupo	11	4	3	3
L016	Eleuterio a Risalaimi	10	7	7	7
L017	Elicone a Falcone	6	4	-	4
L018	Fastaia a La China	5	2	-	2
L033	Nocella a Zucco	5	3	-	3
L034	Oreto a Parco	14	9	6	6
L039	San Biagio a Mandorleto	3	3	-	3
L052	Valle dell'Acqua a Serena	16	5	5	5
		278	152	42	159
					TOT

- Pluviometri rimasti invariati dopo l'applicazione del buffer.
 Pluviometri per i quali non è risultato idoneo il buffer.
- Pluviometri per i quali è risultato idoneo il buffer.
 Pluviometri per i quali non è stato possibile rispettare l'ipotesi di massimo 4 pluviometri attivi per bacino.

Tabella 22 - Applicazione dei buffer e selezione del n° dei pluviometri per bacino.

Dopo aver applicato il buffer di 3 km per tutti i 45 bacini, abbiamo ottenuto i valori registrati nella quarta colonna della tabella. Tuttavia, questo ha richiesto ulteriori valutazioni. Abbiamo analizzato il numero di pluviometri attivi in ciascun bacino e, in particolare, abbiamo valutato le combinazioni pluviometro attivo/anno di interesse in cui ricercare la precipitazione P. In alcuni casi, il buffer di 3 km non si è rivelato appropriato poiché teneva in considerazione i pluviometri attivi solo in pochi anni di osservazione, escludendo quelli attivi per un numero significativamente maggiore di anni. Ciò avrebbe portato alla rimozione di molti anni di dati per cui erano già state raccolte informazioni sulla massima portata giornaliera e le relative date, riducendo notevolmente il numero di dati disponibili per la creazione del database dei coefficienti di deflusso. Sempre per lo stesso motivo di eccessiva riduzione degli anni di osservazione per alcuni bacini non è stato possibile rispettare l'ipotesi fatta in precedenza per cui si richiedeva un numero massimo di 4 pluviometri, ma essendo questi solo 9 su 45 bacini è stato possibile fare un'eccezione. Infine, per altri è stato opportuno restringere ulteriormente il buffer, passando da quello di 3 km a 2 km, per diminuire il numero di pluviometri. In sintesi, abbiamo ottenuto quanto segue:

- Il numero di pluviometri di 5/45 bacini è rimasto invariato dopo l'applicazione del buffer di 3 km, ma rispettando già a monte l'ipotesi in cui si richiedeva come numero massimo 4 pluviometri, questi pluviometri risultano comunque idonei;
- Il numero di pluviometri di 14/45 bacini non è risultato idoneo al buffer di 3 km, questo a causa dell'eccessiva riduzione del numero di anni per la formazione del database di coefficienti di deflusso, pertanto, è invece risultato idoneo il numero di pluviometri di partenza (riportato nella terza colonna);
- Il numero di pluviometri di 17/45 bacini è risultato idoneo al buffer di 3 km;
- Il numero di pluviometri di 9/45 bacini è risultato idoneo al buffer di 2 km.

Di questi, per il numero di pluviometri di 9/45 bacini non è rispettata l'ipotesi in cui si richiedeva come numero massimo 4 pluviometri, ma come già detto in precedenza, sono stati ugualmente accettati ai fini dell'analisi.

Dopo aver determinato il numero di pluviometri attivi per ciascun bacino negli anni di interesse, nei quali già avevamo ottenuto la data e il valore della portata massima giornaliera, ci siamo concentrati sulla ricerca dei valori di precipitazione sub-giornaliera di massima intensità per le diverse durate di riferimento di ciascun bacino. Per fare ciò, noti i pluviometri e i distretti di appartenenza per ciascuno di essi, abbiamo fatto riferimento alle tabelle contenute negli Annali Idrologici, come descritto nel Capitolo 2, per gli estremi di precipitazione sub-giornaliera (durate di 1, 3 o 6 ore), si è fatto riferimento alla tabella "Precipitazioni di massima intensità registrate ai pluviografi" (o "Precipitazioni di massima intensità" in base all'anno di interesse) contenuta nella Parte II (Elaborazioni e Studi) degli annali fino al 1934 e nella Parte I (Sezione B) in quelli successivi. Ottenuti i dati di precipitazione sub-giornaliera di massima intensità e il giorno e il mese di registrazione di quest'ultime, è stato fatto un confronto con i valori di portata e le rispettive date, ricercando la corrispondenza temporale degli eventi. Qui di seguito è riportato un estratto delle tabelle che includono i valori delle portate massime giornaliera, delle precipitazioni sub-giornaliere e delle relative date in cui si è ricercata la corrispondenza temporale tra le portate e le precipitazioni.

Dalle tabelle soprastanti emerge che, per ciascun bacino analizzato, sono rari i casi in cui si è verificata la corrispondenza temporale tra gli eventi di portata massima giornaliera e precipitazione sub-giornaliera, per tale motivo è stato deciso di estendere l'analisi dei dati alle precipitazioni massime giornaliere e di proseguire nella valutazione delle corrispondenze portate-precipitazioni.

In particolare, a partire dal giorno e mese di registrazione della portata massima giornaliera si è andato a ricercare negli Annali Idrologici il valore di precipitazione massima giornaliera, come descritto nel Capitolo 2, nella tabella delle "Osservazioni pluviometriche giornaliere" (o "Precipitazioni meteoriche giornaliere, decadiche e mensili" in base all'anno di interesse) contenuta nella Parte I (Osservazioni) degli annali fino al 1934 e nella Parte I (Sezione B) in quelli successivi. Non sempre alla data della portata massima giornaliera è stato trovato il valore di precipitazione massima giornaliera (sono stati accettati i valori con tolleranza di più o meno 1 giorno, ad esempio se la data relativa alla portata era il 6 dicembre, il valore di precipitazione massimo poteva essere il 5, 6 o 7 dicembre), allora in questi casi, per evitare di scartare gli anni di interesse per l'analisi, si è fatto riferimento alle precipitazioni giornaliere cumulate nei 10 giorni antecedenti la data della portata massima giornaliera. Per ciascuno dei 45 bacini, per ognuno dei pluviometri attivi per ciascun anno di interesse è stato quindi ricavato un valore di precipitazione.

Riportiamo di seguito un estratto delle tabelle che includono i valori delle portate massime giornaliere con le rispettive date, le precipitazioni massime giornaliere alle stesse date e le precipitazioni giornaliere cumulate nei 10 giorni precedenti la data della portata massima giornaliera.

Codice Bacino	Nome Bacino
A008	Arda a Mignano (diga del serbatoio)

Analisi dei dati delle Precipitazioni P:

Ricerca la portata massima giornaliera				È il massimo del mese?	precipitazione cumulata nei 10 giorni antecedenti la data di	
Pluviometro	5177	Mignano_Diga	Distretto Parma		P [mm]	Giorni
Anno	Giorno	Mese	P [mm]			
1937						
1938	10	Settembre	83,5	SI	-	
1939	25	Febbraio	50,5	SI	-	
1940	13	Ottobre	98,5	SI	-	
1941	7	Aprile	53,5	SI	-	
1942	28	Aprile	35,0	SI, il 28 Aprile	-	
1943	29	Marzo	47,5	SI, il 29 Marzo	-	
1944	27	Ottobre	40,5	SI	-	
1945	27	Marzo	44,0	SI	-	
1946	14	Marzo	31,0	SI	-	
1947	14	Marzo	13,0	NO, è il 31 Marzo	23,5	Dal 5 Marzo al 14 Marzo (data in cui ho la Q).
1948	4	Maggio	70,0	SI	-	
1949	3	Gennaio	31,5	SI, il 3 Gennaio	-	
1950	27	Febbraio	41,5	SI, il 27 Febbraio	-	
1951	12	Novembre	50,0	SI	-	
1953	15	Ottobre	103,0	SI	-	

Tabella 25 - Estratto tabella precipitazioni massime giornaliere e antecedenti la data della portata massima giornaliera - A008

4.1.3 Stima della precipitazione areale mediante interpolazione spaziale

“La distribuzione nel tempo e nello spazio delle precipitazioni è assai variabile: durante uno stesso evento meteorico, l’entità e la durata delle piogge può variare anche a distanza di pochi chilometri. In linea generale, la piovosità cresce con l’altitudine e decresce con la distanza dalle coste marine; i fattori che però concorrono a generare una precipitazione sono molto numerosi: la temperatura dell’aria, l’umidità e la pressione atmosferica, la radiazione solare, il vento ed i processi fisici che intercorrono tra questi. Nella maggior parte dei casi la zona di cui si vuole ottenere il dato meteorologico non si trova nelle immediate vicinanze di una stazione pluviometrica ma a una distanza più o meno significativa. Non tutti gli Enti che gestiscono le reti pluviografiche in Italia sono in grado di fornire dati già interpolati per le coordinate del punto o della zona oggetto di studio; si può allora decidere di adottare un criterio cautelativo, utilizzando i dati maggiormente penalizzanti oppure si può procedere autonomamente all’interpolazione mediante metodi che impiegano tecniche pesate. Le tecniche pesate consistono nell’attribuire ad un punto di cui non è noto il valore quello ottenuto pesando i dati noti dei punti adiacenti in base a determinate funzioni.” (Fonte: *Acque meteoriche di dilavamento: principi di progettazione e dimensionamento degli impianti di trattamento*. Montin, P., 1971).

Uno degli interpolatori a media mobile più usato è costituito dal metodo delle distanze inverse pesate o IDW (*Inverse Distance Weighting*), secondo cui la stima del dato di pioggia in corrispondenza dei punti di interesse è inversamente proporzionale alla distanza di questi ultimi dai punti di misura attraverso la relazione:

$$d_{1-2} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

Ne deriva che il dato di pioggia nel punto i-esimo è definito come:

$$P_x = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{P_i}{d_i^2}\right)}{\sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{d_i^2}\right)}$$

In cui:

- P_x : il valore interpolato all’interno del dominio scelto;
- P_i : il valore i-esimo da interpolare;
- d_i : la distanza dal punto i-esimo.

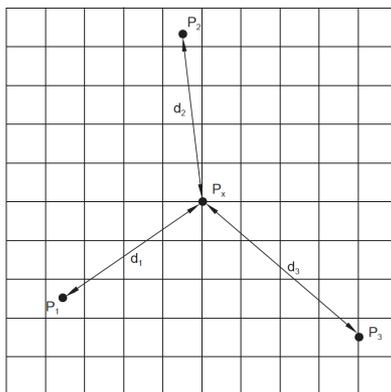


Figura 40 – Esempio di interpolazione IDW: Il valore al punto Px, interno al dominio di punti noti, sarà calcolato pesando i valori dei punti adiacenti P1-P2 P3 in base alla distanza da Px Il valore al punto Px.

Noti i valori di precipitazione, determinati i centroidi per ciascun bacino tramite software QGIS, è stato possibile calcolare la distanza $d_{\text{centroide-pluviometro}}$ e di conseguenza proseguire con l'applicazione del metodo delle distanze inverse pesate. Per ciascun bacino, abbiamo registrato i valori in una tabella, e di seguito forniamo un estratto di questi dati.

Codice Bacino	Nome Bacino	Durata di riferimento del bacino [h]
A010	Aveto (Trebbia) a Cabanne	3

Anno	Q _{max} giornaliera [m ³ /s]	Pluviometro 8247_Tigliolo			Pluviometro 8032_Cabanne		
		P [mm] a 3h	P _{max} , giornaliera [mm]	P _{cum} , giornaliera [mm] (nei 10gg precedenti la Q)	P [mm] a 3h	P _{max} , giornaliera [mm]	P _{cum} , giornaliera [mm] (nei 10gg precedenti la Q)
1951	83,1	-	103,4	-	-	-	-
1952	35,4	-	-	138,2	-	-	-
1954	39,4	-	59,2	-	-	-	-
1955	18,8	-	-	11,8	-	-	-
1956	44,2	-	92,6	-	-	-	-
1957	45,7	41,2	-	-	-	-	-
1958	60,1	-	-	332,2	-	-	-
1959	78,6	65,2	-	-	-	-	-
1960	34,8	-	-	116,4	-	-	-
1961	37,7	-	47,4	-	-	-	-
1962	41,9	-	89,4	-	-	-	-
1963	45,6	-	102,2	-	-	-	-
1964	25,5	-	142,4	-	-	-	-
1965	29,3	-	84,2	-	-	-	-
1966	27,0	-	48,8	-	53,2	-	-
1967	46,0	-	120,8	-	60,0	-	-
1968	49,6	-	-	422,8	-	-	-

COORDINATE E DISTANZE PER INTERPOLAZIONE IDW

Coord baricentro bacino		Coordinate Pluv_8247_Tigliolo		Coordinate Pluv_8032_Cabanne	
X _g	Y _g	X	Y	X	Y
524180,14	4925236,73	528771,07	4921171,35	528008,68	4925617,84
Distanza dal baricentro del bacino		Distanza dal baricentro del bacino		Distanza dal baricentro del bacino	
6132,2		m		3847,5	
				m	

Pluviometro 8064_Cichero			VALORI FINALI		
P [mm] a 3h	P _{max} , giornaliera [mm]	P _{cum} , giornaliera [mm] (nei 10gg precedenti la Q)	P [mm] a 3h	P _{max} , giornaliera [mm]	P _{cum} , giornaliera [mm] (nei 10gg precedenti la Q)
-	-	-	-	103,4	-
-	-	-	-	-	138,2
-	-	-	-	59,2	-
-	-	-	-	-	11,8
-	-	-	-	92,6	-
-	-	-	41,2	-	-
-	-	-	-	-	332,2
-	-	-	65,2	-	-
-	-	-	-	-	116,4
-	-	-	-	47,4	-
-	-	-	-	89,4	-
-	-	-	-	102,2	-
-	-	-	-	142,4	-
-	76,0	-	-	80,7	-
-	-	-	53,2	48,8	-
-	115,6	-	60,0	118,6	-
-	122,0	-	-	122,0	422,8

Coordinate Pluv_8064_Cichero	
X	Y
525569,27	4918244,41
Distanza dal baricentro del bacino	
7129,0	m

Tabella 27 - Esempio di interpolazione con metodo IDW

Per ciascun bacino, è stato calcolato un unico valore di precipitazione per ciascun anno di interesse. Di seguito, riportiamo un estratto delle tabelle contenenti i dati conclusivi utilizzati come base per il calcolo dei coefficienti di deflusso.

Codice Bacino	Nome Bacino	Durata di riferimento del bacino [h]
A008	Arda a Mignano (diga del serbatoio)	3

Anno	$Q_{\max, \text{giornaliera}} [m^3/s]$	P [mm] a 3h	$P_{\max, \text{giornaliera}} [mm]$	$P_{\text{cum, giornaliera}} [mm]$ (nei 10gg precedenti la Q)
1937	106,0	50,0	-	-
1938	34,7	-	83,5	-
1939	29,7	-	50,5	-
1940	35,0	-	98,5	-
1941	47,7	-	53,5	-
1942	23,3	-	35,0	-
1943	25,8	-	47,5	-
1944	24,1	-	40,5	-
1945	26,7	-	44,0	-
1946	20,4	-	31,0	-
1947	29,2	-	-	23,5
1948	58,4	-	70,0	-
1949	33,5	-	31,5	-
1950	31,7	-	41,5	-
1951	44,2	-	50,0	-
1953	49,4	-	103,0	-

Tabella 28 – Estratto della tabella contenente il database ottenuto per il calcolo dei coefficienti di deflusso – A008

Codice Bacino	Nome Bacino	Durata di riferimento del bacino [h]
A010	Aveto (Tebbia) a Cabanne	3

Anno	$Q_{\max, \text{giornaliera}} [m^3/s]$	P [mm] a 3h	$P_{\max, \text{giornaliera}} [mm]$	$P_{\text{cum, giornaliera}} [mm]$ (nei 10gg precedenti la Q)
1951	83,1	-	103,4	-
1952	35,4	-	-	138,2
1954	39,4	-	59,2	-
1955	18,8	-	-	11,8
1956	44,2	-	92,6	-
1957	45,7	41,2	-	-
1958	60,1	-	-	332,2
1959	78,6	65,2	-	-
1960	34,8	-	-	116,4
1961	37,7	-	47,4	-
1962	41,9	-	89,4	-
1963	45,6	-	102,2	-
1964	25,5	-	142,4	-
1965	29,3	-	80,7	-
1966	27,0	53,2	-	-
1967	46,0	60,0	-	-
1968	49,6	-	122,0	-

Tabella 29 - Estratto della tabella contenente il database ottenuto per il calcolo dei coefficienti di deflusso – A010

In conclusione, sono stati ottenuti 984 anni totali di corrispondenza temporale dal 1929 al 1996, di cui:

- 154 da piogge estreme sub-giornaliere;
- 654 da piogge estreme giornaliere;
- 176 da piogge giornaliere cumulate nei 10 giorni antecedenti.

Si riporta nella tabella sottostante un riassunto dei dati ottenuti per bacino.

Codice Bacino	Nome Bacino	n°anni di dati effettivi
A008	Arda a Mignano (diga del serbatoio)	16
A010	Aveto (Trebbia) a Cabanne	17
A014	Bevera a Colombaio	17
A019	Bormida di Mallare a Ferrania	14
A064	Erro (Bormida) a Sassello	10
A173	Taro a Piane di Carniglia	22
A190	Trebbia a Due Ponti	16
B004	Correcchio (Reno) a Contrada Il Portone	24
B009	Limentra di Riola (Reno) a Stagno	23
B013	Quaderna (Reno) a Palesio	23
B014	Reno a Pracchia	30
B015	Reno a Molino di Pallone	26
D003	Bagnone a Bagnone	21
D005	Bisagno a La Presa	9
D007	Graveglia a Caminata	14
D008	Impero a Ruge di Pontedassio	20
D012	Magra a Piccatello	20
D019	Sansobbia a Ponte Poggi	21
E003	Arno a Stia	30
E014	Bisenzio a Praticello	17
E019	Bovalico a San Mamiliano	22
E020	Brana a Burgianico	16
E025	Cornia a Frassine	9
E030	Farma a Ponte di Torniella	35
E032	Frigido a Canevara	32
E038	Massera a Molino del Balzone	20
E041	Milia a Grillandina	13
E043	Nievole a Colonna	30
E050	Pescia di Pescia a Molino Narducci	11
E051	Rio Sana a Cartiera Valgiano	19
E059	Sorgente di Villa Spada a Quiesa	20
G005	Feltrino a San Vito	19
G022	Zittola a Montenero	22
H027	Torano a Piedimonte d'Alife	15
L004	Anapo a San Nicola	22
L006	Baiata a Sapone	15
L014	Dittaino a Bozzetta	17
L015	Eleuterio a Lupo	41
L016	Eleuterio a Risalaimi	27
L017	Elicone a Falcone	15
L018	Fastaia a La China	31
L033	Nocella a Zucco	34
L034	Oreto a Parco	57
L039	San Biagio a Mandorleto	19
L052	Valle dell'Acqua a Serena	33
		984
		TOT

Tabella 30 – Numero di anni totali (e per ciascun bacino) di corrispondenza temporale dal 1929 al 1996

Codice Bacino	Nome Bacino	P [mm] a 1h	P [mm] a 3h	P [mm] a 6h	Pmax, giornaliera [mm]	Pcum, giornaliera [mm] (nei 10gg precedenti la Q)
A008	Arda a Mignano (diga del serbatoio)		1		14	1
A010	Aveto (Tebbia) a Cabanne		4		9	4
A014	Bevera a Colombaio		0		13	4
A019	Bormida di Mallare a Ferrania		2		9	3
A064	Erro (Bormida) a Sassello			1	9	0
A173	Taro a Piane di Carniglia		6		11	5
A190	Trebbia a Due Ponti		4		12	0
B004	Correcchio (Reno) a Contrada Il Portone		3		17	4
B009	Limentra di Riola (Reno) a Stagno		4		18	1
B013	Quaderna (Reno) a Palesio		2		18	3
B014	Reno a Pracchia		9		20	1
B015	Reno a Molino di Pallone		4		21	1
D003	Bagnone a Bagnone		4		13	4
D005	Bisagno a La Presa		2		6	1
D007	Gravaglia a Caminata		2		9	3
D008	Impero a Ruge di Pontedassio		8		11	1
D012	Magra a Piccatello		6		11	3
D019	Sansobbia a Ponte Poggi		4		13	4
E003	Arno a Stia		3		22	5
E014	Bisenzio a Praticello		3		12	2
E019	Bovalico a San Mamiliano	2			14	6
E020	Brana a Burgianico	3			10	3
E025	Cornia a Frassine			1	6	2
E030	Farma a Ponte di Toriella			9	20	6
E032	Frigido a Canevara	3			21	8
E038	Massera a Molino del Balzone		5		10	5
E041	Milia a Grillandina			4	7	2
E043	Nievole a Colonna		1		26	3
E050	Pescia di Pescia a Molino Narducci		3		6	2
E051	Rio Sana a Cartiera Valgiano	0			17	2
E059	Sorgente di Villa Spada a Quiesa	0			5	15
G005	Feltrino a San Vito		3		14	2
G022	Zittola a Montenero		0		13	9
H027	Torano a Piedimonte d'Alife	1			5	9
L004	Anapo a San Nicola		4		16	2
L006	Baiata a Sapone		2		9	4
L014	Dittaino a Bozzetta		1		12	4
L015	Eleuterio a Lupo	1			29	11
L016	Eleuterio a Risalaimi		1		24	2
L017	Elicone a Falcone		1		14	0
L018	Fastaia a La China		3		18	10
L033	Nocella a Zucco		8		18	8
L034	Oreto a Parco		14		39	4
L039	San Biagio a Mandorleto		9		6	4
L052	Valle dell'Acqua a Serena	3			27	3
TOTALE		13	126	15	654	176
		154				

Tabella 31 - Risultati dei valori di precipitazione ottenuti per ciascun bacino e divisi in base al tipo di precipitazione

Questi dati sono stati suddivisi in base a tre categorie principali, corrispondenti ai diversi tipi di precipitazione esaminati: piogge estreme sub-giornaliere, piogge estreme giornaliere e piogge giornaliere cumulate nei 10 giorni antecedenti.

- **Piogge Estreme Sub-giornaliere:** Questa categoria comprende le precipitazioni di massima intensità con durate inferiori a una giornata. Questi eventi possono verificarsi rapidamente e generare un significativo deflusso superficiale. Dai risultati ottenuti emerge che sono stati registrati 154 anni con dati di precipitazione sub-giornaliera per i bacini considerati. Questi dati costituiscono un elemento cruciale per comprendere come le brevi ma intense precipitazioni influenzino il comportamento idrologico dei bacini.
- **Piogge Estreme Giornaliere:** Le piogge estreme con durata di un giorno rappresentano un'ulteriore categoria di precipitazioni analizzate. In totale, sono stati identificati 654 anni in cui sono stati

registrati dati relativi alle piogge giornaliere di massima intensità. Questi dati sono di fondamentale importanza per la comprensione del deflusso superficiale durante eventi di precipitazioni prolungate su un periodo di 24 ore.

- **Piogge Giornaliere Cumulate nei 10 Giorni Antecedenti:** Questa categoria include precipitazioni giornaliere accumulate nei 10 giorni precedenti alla registrazione della portata massima. Questi dati, che sono stati identificati per un totale di 176 anni, forniscono informazioni preziose sulla correlazione tra le precipitazioni cumulative e il deflusso idrografico a lungo termine.

La suddivisione dei dati di precipitazione in queste tre categorie riflette l'approccio dettagliato adottato nell'analisi idrologica e rappresenta una base solida per lo studio della relazione tra precipitazione e deflusso in ciascun bacino. Questi risultati costituiscono un punto di partenza fondamentale per il calcolo dei coefficienti di deflusso e la comprensione dei processi idrologici nei bacini idrografici in studio.

4.2 MODELLO AFFLUSSI-DEFLUSSI: METODO DELLA CORRIVAZIONE (FORMULA RAZIONALE)

I modelli di afflussi e deflussi rappresentano uno strumento fondamentale nell'ambito dell'ingegneria idraulica, poiché consentono di comprendere e prevedere come l'acqua fluisce all'interno dei bacini idrografici in risposta alle precipitazioni. Il metodo della corrivazione con la formula razionale è un approccio ampiamente utilizzato per quantificare il deflusso superficiale in un bacino idrografico.

La formula razionale è espressa come:

$$Q = \frac{C \cdot A \cdot i(d)}{3,6} \quad [m^3/s]$$

In cui:

- Q è la portata di piena (in m^3/s);
- C è il coefficiente di deflusso (adimensionale);
- i è l'intensità della pioggia alla durata di riferimento più prossima al tempo di corrivazione (in mm/h).
- A è l'area del bacino (in km^2).

La chiave di questo approccio risiede nella stima del coefficiente "C", che tiene conto delle caratteristiche fisiche del bacino, come la forma, la copertura del suolo, la pendenza e l'uso del territorio.

In particolare, questo viene calcolato invertendo la formula razionale in questo modo:

$$C = \frac{3,6 \cdot Q}{A \cdot i(d)}$$

4.3 METODO DEI VOLUMI

Il metodo dei volumi è un approccio utilizzato nell'idrologia per calcolare il volume complessivo di acqua che fluisce attraverso un corso d'acqua o un bacino idrografico durante un evento di pioggia. L'idea di base è valutare quanto acqua piovana entra nel bacino, quanto se ne perde per evaporazione e infiltrazione, e quanto effettivamente contribuisce al deflusso superficiale. Il primo passo nel calcolo dei volumi consiste nella stima delle precipitazioni piovute sulla superficie del bacino. Questo può essere ottenuto tramite dati meteorologici o radar, e spesso vengono considerati diversi tipi di precipitazioni, come piogge giornaliere o sub-giornaliere, a seconda delle necessità dell'analisi. Una volta ottenuti i dati di precipitazione, si procede con la valutazione della quantità di acqua che entra nel bacino, tenendo conto di fattori quali l'infiltrazione nel suolo e la capacità di ritenzione delle acque superficiali. Successivamente, il metodo dei volumi considera la quantità di acqua persa per via dell'evaporazione, che dipende da variabili climatiche come la temperatura e l'umidità dell'aria. La parte rimanente dell'acqua piovana costituirà il deflusso superficiale. Questo deflusso può essere suddiviso in due categorie principali: il deflusso rapido, che è immediato e raggiunge velocemente i corsi d'acqua, e il deflusso lento, che si verifica in seguito all'infiltrazione nel suolo e al rilascio graduale dell'acqua nel tempo. Questa distinzione tra le due componenti del deflusso permette di valutare il tempo di risposta di un bacino idrografico di fronte a eventi di precipitazione e di comprendere come la struttura del suolo influenzi il comportamento idrologico.

Il coefficiente di deflusso C è dato dal rapporto tra il volume defluito dal bacino in un dato intervallo di tempo ed il relativo afflusso costituito dalla precipitazione totale. Dunque:

$$C = \frac{V_{deflusso}}{V_{afflusso}}$$

In cui il volume di afflusso è costituito dalla precipitazione totale P [mm], mentre il volume di deflusso viene espresso in mm dividendolo per la superficie del bacino:

$$V_{deflusso} [mm] = 10^{-3} \frac{V [m^3]}{A [km^2]}$$

Illustrati i metodi con cui calcoleremo i coefficienti di deflusso, nel capitolo seguente, verranno illustrati e commentati i risultati.

5. STIMA EMPIRICA DEI COEFFICIENTI DI DEFLUSSO

In questo capitolo vengono calcolati i coefficienti di deflusso utilizzando le metodologie precedentemente illustrate e se ne commentano i risultati.

5.1 CALCOLO E RAPPRESENTAZIONE DEI COEFFICIENTI DI DEFLUSSO

Il coefficiente di deflusso, nell'ambito dell'idrologia, è un parametro fondamentale che descrive la percentuale di acqua piovana che scorre direttamente in superficie e raggiunge i corpi idrici o i sistemi di drenaggio. Questo coefficiente è essenziale per la modellazione degli afflussi e deflussi in un bacino idrografico, poiché tiene conto delle caratteristiche del terreno, della vegetazione, e dell'uso del suolo, che influenzano la capacità di infiltrazione e la permeabilità del terreno. Solitamente, il coefficiente di deflusso oscilla in un range di valori compreso tra 0 e 1: un coefficiente di deflusso elevato indica una bassa capacità di infiltrazione, con un maggiore flusso superficiale, mentre un coefficiente basso indica una maggiore infiltrazione e un minore deflusso superficiale. Inoltre, questo parametro è spesso soggetto a variabilità spaziale e temporale all'interno di un bacino, il che rende importante considerare le caratteristiche locali per ottenere stime affidabili.

Nel complesso, il coefficiente di deflusso svolge un ruolo chiave nell'analisi idrologica e nella progettazione idraulica, contribuendo a gestire le risorse idriche e a mitigare i rischi di inondazioni.

Nella procedura di calcolo dei coefficienti di deflusso, è stato utilizzato il metodo della corrivazione con l'utilizzo della formula razionale per i valori di portata massima giornaliera e di precipitazione sub-giornaliera di massima intensità, da cui è stata ricavata l'intensità di pioggia alla durata di riferimento più prossima al tempo di corrivazione di ciascun bacino; il metodo dei volumi per i restanti casi, in cui si aveva la precipitazione massima giornaliera e la cumulata nei 10 giorni antecedenti il valore di portata massima giornaliera. Nella figura di seguito è mostrato in modo più agevole il procedimento.

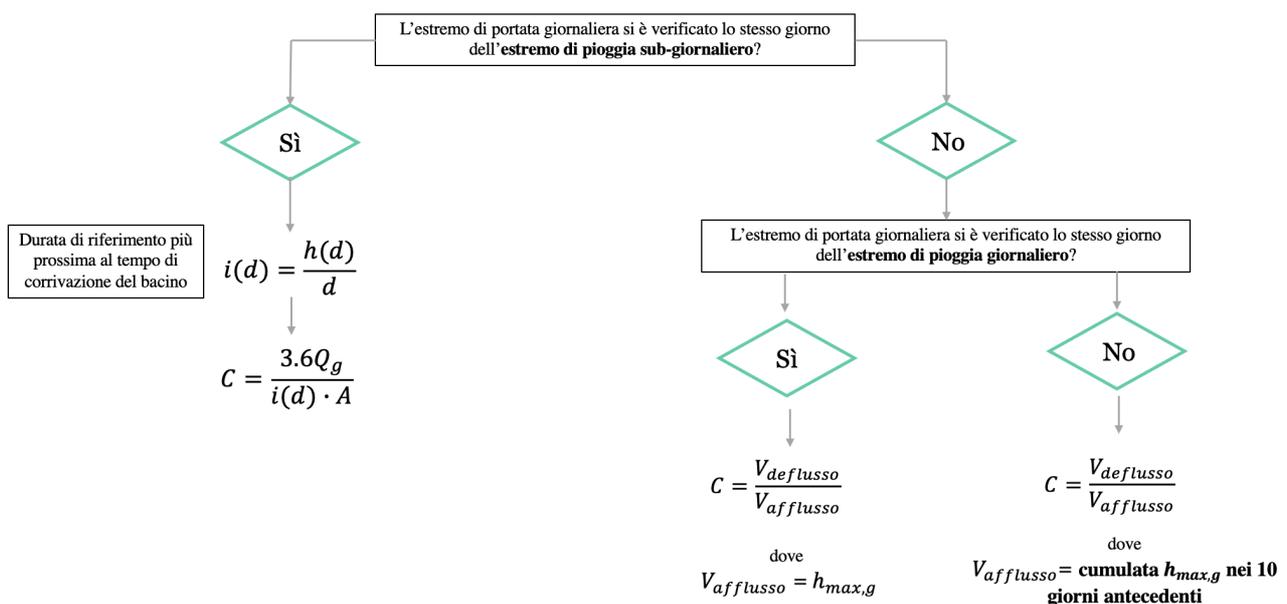


Figura 41 - Procedimento di calcolo dei coefficienti di deflusso.

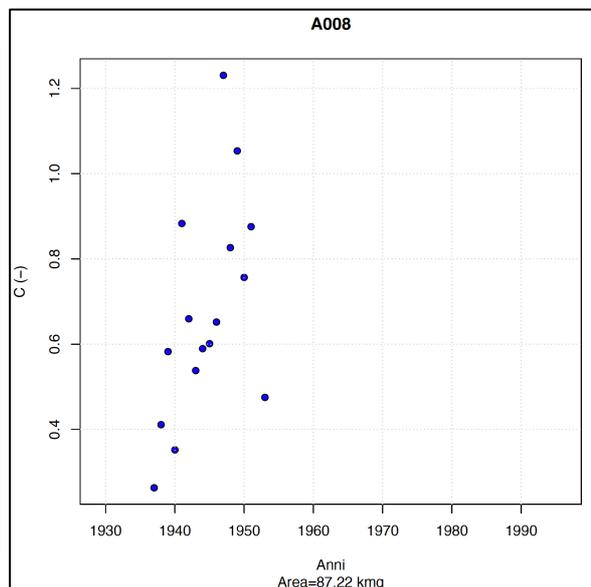
Per ciascuno dei bacini analizzati sono stati calcolati i coefficienti di deflusso, di seguito riportiamo un estratto delle tabelle contenenti i dati utilizzati per il calcolo e i relativi grafici dei valori finali, presenti in Allegato 3.

Codice Bacino	Nome Bacino
A008	Arda a Mignano (diga del serbatoio)

Durata di riferimento [h]	Area bacino [km ²]
3	87,22

METODO DEI PICCHI

Anno	Q _{max,giornera} [m ³ /s]	P [mm] a 3h	Coefficiente di deflusso c [-]
1937	106,0	50,0	0,263
1938	34,7	-	-
1939	29,7	-	-
1940	35,0	-	-
1941	47,7	-	-
1942	23,3	-	-
1943	25,8	-	-
1944	24,1	-	-
1945	26,7	-	-
1946	20,4	-	-
1947	29,2	-	-
1948	58,4	-	-
1949	33,5	-	-
1950	31,7	-	-
1951	44,2	-	-
1953	49,4	-	-



METODO DEI VOLUMI

Anno	Q _{max,giornera} [m ³ /s]	P _{max,giornera} [mm]	Volume di deflusso netto [mm]	Volume di deflusso lordo [mm]	Coefficiente di deflusso c [-]
1937	106,0	-	105,0	-	-
1938	34,7	83,5	34,3	83,5	0,411
1939	29,7	50,5	29,4	50,5	0,583
1940	35,0	98,5	34,7	98,5	0,352
1941	47,7	53,5	47,3	53,5	0,883
1942	23,3	35,0	23,1	35	0,659
1943	25,8	47,5	25,6	47,5	0,538
1944	24,1	40,5	23,9	40,5	0,589
1945	26,7	44,0	26,4	44	0,601
1946	20,4	31,0	20,2	31	0,652
1947	29,2	-	28,9	-	-
1948	58,4	70,0	57,9	70	0,826
1949	33,5	31,5	33,2	31,5	1,053
1950	31,7	41,5	31,4	41,5	0,757
1951	44,2	50,0	43,8	50	0,876
1953	49,4	103,0	48,9	103	0,475

Anno	Q _{max,giornera} [m ³ /s]	P _{cum,giornera} [mm] (nei 10gg precedenti la Q)	Volume di deflusso netto [mm]	Volume di deflusso lordo [mm]	Coefficiente di deflusso c [-]
1937	106,0	-	105,0	-	-
1938	34,7	-	34,3	-	-
1939	29,7	-	29,4	-	-
1940	35,0	-	34,7	-	-
1941	47,7	-	47,3	-	-
1942	23,3	-	23,1	-	-
1943	25,8	-	25,6	-	-
1944	24,1	-	23,9	-	-
1945	26,7	-	26,4	-	-
1946	20,4	-	20,2	-	-
1947	29,2	23,5	28,9	23,5	1,231
1948	58,4	-	57,9	-	-
1949	33,5	-	33,2	-	-
1950	31,7	-	31,4	-	-
1951	44,2	-	43,8	-	-
1953	49,4	-	48,9	-	-

Figura 42 - Calcolo coefficienti di deflusso - Bacino A008

In conclusione, sono stati ottenuti 984 valori di coefficienti di deflusso dal 1929 al 1996, di cui:

- 154 dal metodo della corrivazione applicando la formula razionale (metodo dei picchi).
- 830 dal metodo dei volumi.

Si riporta nella tabella sottostante un riassunto dei dati ottenuti per bacino.

Codice Bacino	Nome Bacino	n° coefficienti di deflusso	METODO DEI PICCHI		METODO DEI VOLUMI		METODO DEI PICCHI		METODO DEI VOLUMI	
			n° coefficienti di deflusso < 0,1	n° coefficienti di deflusso > 1	n° coefficienti di deflusso < 0,1	n° coefficienti di deflusso > 1				
A008	Arda a Mignano (diga del serbatoio)	16	1	15	0	0	0	2		
A010	Aveto (Tebbia) a Cabanne	17	4	13	0	0	0	6		
A014	Bevera a Colombaio	17	0	17	0	0	0	2		
A019	Bormida di Mallare a Ferrania	14	2	12	0	0	0	2		
A064	Erro (Bormida) a Sassello	10	1	9	0	0	0	1		
A173	Taro a Piane di Carniglia	22	6	16	2	0	0	1		
A190	Tebbia a Due Ponti	16	4	12	0	0	0	4		
B004	Correcchio (Reno) a Contrada Il Portone	24	3	21	3	0	3	0		
B009	Limentra di Riola (Reno) a Stagno	23	4	19	1	0	0	3		
B013	Quaderna (Reno) a Palesio	23	2	21	1	0	0	1		
B014	Reno a Pracchia	30	9	21	0	0	0	10		
B015	Reno a Molino di Pallone	26	4	22	1	0	0	4		
D003	Bagnone a Bagnone	21	4	17	3	0	0	1		
D005	Bisagno a La Presa	9	2	7	2	0	0	2		
D007	Graveglia a Caminata	14	2	12	2	0	2	1		
D008	Impero a Ruge di Pontedassio	20	8	12	0	0	0	0		
D012	Magra a Piccatello	20	6	14	4	0	0	1		
D019	Sansobbia a Ponte Poggi	21	4	17	0	0	0	1		
E003	Arno a Stia	30	3	27	3	0	0	8		
E014	Bisenzio a Praticello	17	3	14	1	0	0	0		
E019	Bovalico a San Mamiliano	22	2	20	1	0	3	4		
E020	Brana a Burgianico	16	3	13	3	0	0	2		
E025	Cornia a Frassine	9	1	8	1	0	0	0		
E030	Farma a Ponte di Toriella	35	9	26	1	0	0	2		
E032	Frigido a Canevara	32	3	29	0	0	0	21		
E038	Massera a Molino del Balzone	20	5	15	1	0	0	1		
E041	Milia a Grillandina	13	4	9	4	0	1	0		
E043	Nievole a Colonna	30	1	29	1	0	0	1		
E050	Pescia di Pescia a Molino Narducci	11	3	8	2	0	0	0		
E051	Rio Sana a Cartiera Valgiano	19	0	19	0	0	1	0		
E059	Sorgente di Villa Spada a Quiesa	20	0	20	0	0	8	4		
G005	Feltrino a San Vito	19	3	16	3	0	2	0		
G022	Zittola a Montenero	22	0	22	0	0	0	3		
H027	Torano a Piedimonte d'Alife	15	1	14	1	0	0	5		
L004	Anapo a San Nicola	22	4	18	2	0	1	1		
L006	Baiata a Sapone	15	2	13	2	0	8	0		
L014	Dittaino a Bozzetta	17	1	16	0	0	1	5		
L015	Eleuterio a Lupo	41	1	40	1	0	1	2		
L016	Eleuterio a Risalaimi	27	1	26	1	0	5	0		
L017	Elicone a Falcone	15	1	14	0	0	0	2		
L018	Fastaia a La China	31	3	28	2	0	5	1		
L033	Nocella a Zucco	34	8	26	8	0	3	0		
L034	Oreto a Parco	57	14	43	7	0	1	1		
L039	San Biagio a Mandorleto	19	9	10	8	0	2	1		
L052	Valle dell'Acqua a Serena	33	3	30	3	0	1	1		
TOTALE		984	154	830	75	0	48	107		

Figura 43 - Sintesi dei risultati ottenuti

A seguito dei risultati ottenuti sono state fatte le seguenti considerazioni:

- **C >>1: Coefficienti di deflusso molto elevati (anche superiori a 1)**

I coefficienti di deflusso molto elevati, anche superiori a 1, indicano che la quantità d'acqua che defluisce è maggiore di quanto sia effettivamente caduta sotto forma di pioggia. Ciò può portare a inondazioni, erosione del suolo e problemi di drenaggio. In tali situazioni, è fondamentale considerare misure di gestione delle acque meteoriche, come la progettazione di sistemi di drenaggio adeguati, la creazione di aree di assorbimento o la pianificazione urbana sostenibile per mitigare gli effetti del deflusso superficiale elevato.

Ciò può essere dovuto a diverse cause o condizioni, tra cui:

- Impermeabilità del suolo: Terreni impermeabili, come asfalto o cemento, o suoli sati d'acqua, possono impedire l'infiltrazione dell'acqua piovana nel terreno, causando un alto deflusso superficiale.
- Pendenza accentuata: Terreni con una pendenza elevata accelerano il deflusso dell'acqua, poiché l'acqua ha meno tempo per infiltrarsi nel suolo.
- Infiltrazioni limitate: Se il suolo è già saturo d'acqua a causa di piogge precedenti o di terreni poco permeabili, il deflusso superficiale aumenta.
- Urbanizzazione: In aree urbane, l'asfalto e le superfici impermeabili aumentano il deflusso superficiale, mentre il verde riduce l'infiltrazione.
- Eventi di pioggia intensi: Le piogge intense possono superare la capacità di assorbimento del terreno, portando a un aumento del deflusso superficiale.

- **C <<1: Coefficienti di deflusso molto piccoli**

I coefficienti di deflusso molto piccoli indicano che il terreno e le condizioni ambientali favoriscono l'infiltrazione dell'acqua piovana nel suolo, riducendo il rischio di inondazioni e problemi di drenaggio. Tuttavia, in alcune situazioni, coefficienti di deflusso molto bassi possono comportare una scarsa disponibilità di acqua per il drenaggio e l'approvvigionamento idrico, quindi, è importante trovare un equilibrio tra l'infiltrazione e il deflusso superficiale in base alle esigenze locali e alle condizioni ambientali.

Ciò può essere dovuto a diverse cause o condizioni, tra cui:

- Terreno permeabile: Terreni con una buona capacità di assorbimento dell'acqua, come suoli sabbiosi o ghiaiosi, permettono un'efficace infiltrazione dell'acqua nel terreno, riducendo il deflusso superficiale.
- Vegetazione: La presenza di vegetazione, soprattutto in aree non urbanizzate, aiuta a rallentare il deflusso superficiale, in quanto le radici delle piante aumentano l'infiltrazione e la trattenuta dell'acqua.
- Topografia pianeggiante: Terreni pianeggianti o con una pendenza molto dolce permettono un maggiore tempo di contatto tra l'acqua piovana e il suolo, favorendo l'infiltrazione rispetto al deflusso.
- Bacini idrografici piccoli: In bacini idrografici di dimensioni ridotte, l'acqua ha meno spazio per accumularsi e fluire in superficie, il che può ridurre il deflusso superficiale.
- Copertura verde: La presenza di prati, foreste o terreni agricoli ben gestiti può aumentare l'infiltrazione e ridurre il deflusso superficiale.

CONCLUSIONI

Obiettivo del presente elaborato di tesi è quello di realizzare un set di coefficienti di deflusso empirici per 51 bacini in tutta Italia, stimati utilizzando dati storici riportati negli Annali Idrologici, ovvero gli estremi annuali di portata giornaliera e gli estremi di precipitazione giornaliera e sub-giornaliera.

Il lavoro di tesi si è sviluppato in quattro fasi distinte, riassunte brevemente in seguito. Nella prima fase, sono state raccolte e analizzate le strutture dei dati consultati e utilizzati per la ricerca, suddivise in base alla fonte, in particolare gli *Annali Idrologici* (Fonte: ISPRA) e il *Catalogo delle piene dei corsi d'acqua italiani* (Claps P., D. Ganora, A. Apostolo, I. Brignolo, I. Monforte, 2020).

In una seconda fase, si è passati all'analisi preliminare in cui sono stati presi in considerazione 198 bacini di dimensioni limitate, con un'area inferiore a 100 km², ma con un'area complessiva di indagine compresa tra 400 e 500 km² ($A_{TOT} = A_{BACINO} + A_{BUFFER}$). Questa scelta era motivata dal bisogno di considerare un numero sufficiente di pluviometri per ciascun bacino. Poi, nell'ambito dell'analisi condotta, sono stati applicati tre criteri di selezione per ridurre il numero di bacini oggetto di studio, in particolare bacini con almeno 15 anni di osservazione, di dimensioni ridotte (con un'area inferiore a 100 km²) per evitare complessità legate alla distribuzione spaziale delle precipitazioni e che si trovano a quote inferiori a 1000 metri sul livello del mare per evitare problemi legati alle precipitazioni nevose.

Dall'applicazione di questi criteri di selezione si è giunti ai 51 bacini oggetto di studio del presente elaborato, per i quali si è passati, in una terza fase, dopo una trattazione sulle caratteristiche morfologiche e la stima dei tempi di corrivazione, alla prima costruzione di un database delle portate massime giornaliere e delle relative date a cui è stata associata la ricerca del corrispondente valore estremo di precipitazione dagli Annali Idrologici. Emerso che, per ciascun bacino analizzato, sono rari i casi in cui si è verificata la corrispondenza temporale tra gli eventi di portata massima giornaliera e precipitazione sub-giornaliera, è stato deciso di estendere l'analisi dei dati alle precipitazioni massime giornaliere e alle precipitazioni cumulate nei 10 giorni antecedenti l'evento di portata massima giornaliera.

Sono stati analizzati i dati di precipitazione di circa 159 pluviometri, poi processati con il metodo di stima della precipitazione areale mediante interpolazione spaziale (metodo IDW) e in conclusione, sono stati ottenuti 984 anni totali di corrispondenza temporale dal 1929 al 1996, di cui 154 da piogge estreme sub-giornaliere; 654 da piogge estreme giornaliere e 176 da piogge giornaliere cumulate nei 10 giorni antecedenti.

Il lavoro si conclude con i metodi utilizzati per calcolare i coefficienti di deflusso, nello specifico il metodo della corrivazione con formula razionale (metodo dei picchi) e il metodo dei volumi e con la realizzazione di un ampio set di coefficienti di deflusso, costituito da 984 valori in una finestra temporale che va dal 1929 al 1996, di cui 154 calcolati con il metodo della corrivazione applicando la formula razionale (metodo dei picchi)

e 830 con il metodo dei volumi. Per alcuni bacini sono emersi valori troppo grandi o troppo piccoli dei coefficienti di deflusso e necessitano ulteriori approfondimenti.

Questo lavoro di tesi costituisce una prima base verso una stima del coefficiente di deflusso il più possibile esente da soggettività, come tipicamente avviene nelle applicazioni tradizionali dei modelli afflussi-deflussi, infatti una volta calibrato, il modello può essere utilizzato per prevedere le portate di deflusso superficiale in risposta a diverse intensità di precipitazione, il che è di fondamentale importanza per la gestione delle risorse idriche, la progettazione di opere idrauliche e la prevenzione di inondazioni.

È auspicabile l'estensione di questo lavoro svolto per una parte di bacini italiani al resto del territorio nazionale, al fine di ottenere un database e un'analisi dei coefficienti di deflusso rappresentativi di tutta l'Italia.

BIBLIOGRAFIA

- Allamano P., Laio F., Claps P., Classificazione delle relazioni tra afflussi e deflussi tramite criteri di contingenza, 2006.
- Allamano P., Claps P., Laio F., Thea C., A data-based assessment of the dependence of short-duration precipitation on elevation, 2009.
- Allamano P., P. Claps & F. Laio (2009), An analytical model of the effects of catchment elevation on the flood frequency distribution, *Water Resour. Res.*, 45, W01402.
- Allamano P., E. Bartolini, P. Claps & F. Laio (2010), Effetti di variazioni climatiche sul rischio di piena nei bacini alpini, XXXII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche.
- Chow V. T., Maidment D. R., Mays L. W., (1988). *Applied hydrology*. GB661.2.C43 1988 627 87- 16860.
- Claps, P.; Ganora, D.; Apostolo, A.; Brignolo, I.; Monforte, I. *Catalogo delle Piene dei 297 Corsi d'acqua Italiani*. Ed. CINID., 1, 2020.
- Deidda, R. *Sugli studi degli eventi estremi di precipitazione in Sardegna*. L'Acqua, 2022, 1.
- GNDCI Linea 1. *Rapporto di sintesi sulla valutazione delle piene in Italia*. Sardegna, 2001, 12.1-12.9.
- ISPRA – *Annali Idrologici*
- Lastoria B., Bussetini M., Mariani S., Piva F., Braca G., 2021: *Rapporto sulle condizioni di pericolosità da alluvione in Italia e indicatori di rischio associati*. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Rapporti 353/21, Roma
- Libertino A., Allamano, P., Laio, F. & Claps, P. Regional-scale analysis of extreme precipitation from short and fragmented records, *Advances in Water Resources*, 2018, 112, 147-159.
- Lun, D., Viglione, A., Bertola, M., Komma, J., Parajka, J., Valent, P., & Blöschl, G. (2021). Characteristics and process controls of statistical flood moments in Europe – a data-based analysis. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25 (10), 5535–5560.
- Mazzoglio, P., Butera, I., & Claps, P. I2-RED: a massive update and quality control of the Italian annual extreme rainfall dataset, *Water*, 2020, 12(12), 3308.
- Mazzoglio, P., Volpini, G., Deidda, R. and Claps, P., *Stima multi-modello della severità di un evento alluvionale: il caso di Bitti*, 2022.
- Moisello U., *Idrologia tecnica, La goliardica pavese*, Pavia 1998.
- Viglione, A., Merz, R., & Blöschl, G. (2009b). On the role of the runoff coefficient in the mapping of rainfall to flood return periods. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13 (5), 577–593.

SITOGRAFIA

Idrologia Polito - <http://www.idrologia.polito.it/web2/>

Arpa Piemonte - <https://www.arpa.piemonte.it/>

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale - <https://www.isprambiente.gov.it/it>

QGIS Software <https://www.qgis.org/it/site/>

Regione Piemonte - <https://www.regione.piemonte.it/web/>

Sistema nazionale per l'elaborazione e diffusione dei dati climatici (SCIA) - <http://www.scia.isprambiente.it>

Sistema nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA) - <https://www.snpambiente.it>

ALLEGATI

ALLEGATO 1: Tabella riassuntiva con le principali caratteristiche analizzate dei 198 bacini

Codice Bacino	Nome Bacino	n°anni dati contemporaneità	n° pluviometri attivi nell'area con buffer
A008	Arda a Mignano (diga del serbatoio)	71	7
A009	Artanavaz (Dora Baltea) a St Oyen	0	3
A010	Aveto (Tebbia) a Cabanne	17	18
A011	Ayasse (Dora Baltea) a Champorcher	21	9
A014	Bevera a Colombaio	17	8
A016	Borbore a San Damiano d'Asti	17	5
A019	Bormida di Mallare a Ferrania	20	11
A023	Bormida di Spigno a Valla	49	6
A024	Bousset a Tetti Porcera	0	4
A026	Breuil a Alpette	0	3
A027	Bucera a Ponte Rovine	0	4
A028	Buthier a Place Moulin	0	4
A030	Cervo (Sesia) a Passobreve	28	12
A033	Chiavanne a Alpette	8	6
A034	Chiese Malga Bissina	38	9
A038	Chisone a Soucheres Basses	17	14
A042	Clarea a presa centrale Chiomonte	0	9
A043	Corsaglia (Tanaro) a Presa Centrale Molline	1	7
A044	Dolo (Secchia) a Fontanaluccia (diga del serbatoio)	21	11
A045	Dora Baltea a Cignana	0	8
A046	Dora Baltea a Beauregard	0	3
A054	Dora di Rhemes a Pãclaud	1	5
A055	Dora di Rhemes a Notre Dame	13	6
A062	Elvo a Sordevolo	2	10
A064	Erro (Bormida) a Sassello	16	11
A067	Galambra a presa centrale Chiomonte	0	9
A068	Gesso della Barra a San Giacomo	0	3
A070	Gesso di Entracque a Diga di Piastra	4	4
A072	Gesso di Monte Colombo a San Giacomo	0	4

A075	Isorno a Pontetto	15	4
A077	Lys a d'Ejola	6	8
A078	Lys (Dora Baltea) a Gressoney St. Jean	13	7
A080	Maira a Saretto	16	3
A085	Marmore a Perreres	10	6
A087	Melezet a Melezet	15	6
A088	Meris a Sant'Anna Valdieri	5	8
A092	Nontey a Valnontey	5	6
A106	Po a Crissolo	20	7
A122	Rio Bagni (Stura di Demonte) a Bagni di Vinadio	0	3
A123	Rio del Piz (Stura di Demonte) a Pietraporzio	0	5
A124	Rio Freddo a Rio Freddo	7	6
A126	Rochemolles a Rochemolles	0	9
A127	Rutor a La Joux	22	4
A128	Rutor (Dora Baltea) a Promise	15	4
A131	San Giovanni a Possaccio	14	11
A132	Sarca a Ponte Plaza	27	5
A135	Sarca di Nambron a Pian di Nambron	44	8
A136	Sarca di Val Genova Malga Ceret	15	3
A138	Savara a Eau Rousse	8	7
A145	Sermenza a Rimasco	44	9
A157	Stura di Viù a Lago della Rossa	0	6
A158	Stura di Viù a Malciaussia	47	11
A159	Stura di Viù a Usseglio	9	5
A172	Taro a S.Maria	18	15
A173	Taro a Piane di Carniglia	29	14
A180	Tidone a Molato (diga del serbatoio)	4	10
A181	Toce a Lago Busin	8	3
A182	Toce a Lago d'Avino	27	6
A183	Toce a Agaro	0	4
A184	Toce a Lago Vannino	12	4
A185	Toce a Lago del Sabbione	9	2
A186	Toce a Codelago	0	4

A190	Trebbia a Due Ponti	21	11
A194	Varaita a Castello	54	6
A197	Vermenagna (Stura di Demonte) a Limone	0	4
A198	Vobbia a Vobbietta	14	5
B001	Bidente di Corniolo a Campigna	18	5
B002	Bidente di Ridracoli a Ridracoli (diga del serbatoio)	31	6
B003	Brasimone (Setta) a Santa Maria (diga del serbatoio)	28	10
B004	Correcchio (Reno) a Contrada Il Portone	27	5
B009	Limentra di Riola (Reno) a Stagno	28	8
B010	Limentra di Sambuca (Reno) a Pavana (diga del serbatoio)	41	10
B011	Limentra di Treppio (Reno) a Suviana (diga del serbatoio)	22	8
B012	Orsigna (Reno) a Setteponti	7	17
B013	Quaderna (Reno) a Palesio	25	7
B014	Reno a Pracchia	61	17
B015	Reno a Molino di Pallone	26	11
B021	Rio Faldo (Reno) a Setteponti	0	9
B024	Savena (Reno) a Castel dell'Alpi	20	9
B029	Silla (Reno) a Silla	9	7
B030	Aso a Comunanza Sant'Anna	21	5
B041	Fiastrone a Fiume	4	7
B042	Fluvione a Ponte Pugliese	5	6
B047	Potenza a Spindoli	6	4
B049	Scandarello a Scandarello	19	7
B051	Tenna ad Amandola	40	9
C022	Boite a Podestagno	0	4
C028	Cellina a Stich Lesis	5	16
C033	Cordevole a Digonera	0	13
C037	Diga di Ambiesta	5	7
C038	Diga di Careser	25	7
C039	Diga di Forte Buso	22	6
C043	Diga di Speccheri	12	16
C046	Diga di Tul	23	10

C048	Fiorentina a Pezzegù	0	8
C057	Padola a Ponte Padola	0	3
C058	Passirio a Belprato	0	3
C060	Pettorina a Malga Ciapela	0	10
C061	Piave a Ponte Cordevole	14	9
C066	Plan a Plan	11	2
C071	Rio Anterselva a Bagni Salomone	23	2
C073	Rio Massiaga a Agordina	19	5
C074	Riva a Seghe di Riva	23	3
D003	Bagnone a Bagnone	23	8
D005	Bisagno a La Presa	32	35
D007	Graveglia a Caminata	23	24
D008	Impero a Ruge di Pontedassio	24	14
D010	Lerrone a Villanova d'Albenga	14	19
D011	Letimbro a Segheria Piccardo	14	16
D012	Magra a Piccatello	21	9
D019	Sansobbia a Ponte Poggi	33	20
D020	Sansobbia a Ellera	1	22
D022	Taverone a Licciana	4	11
E003	Arno a Stia	38	4
E014	Bisenzio a Praticello	42	8
E019	Bovalico a San Mamiliano	22	8
E020	Brana a Burgianico	25	10
E025	Cornia a Frassine	16	13
E030	Farma a Ponte di Torniella	40	6
E031	Fegana a Ponte a Bussato	28	18
E032	Frigido a Canevara	50	30
E038	Massera a Molino del Balzone	27	11
E041	Milia a Grillandina	17	9
E042	Milia a Calzalunga	2	12
E043	Nievole a Colonna	33	15
E045	Ombrone Pistoiese a Ponte della Calcaiola	12	14
E050	Pescia di Pescia a Molino Narducci	34	18
E051	Rio Sana a Cartiera Valgiano	19	7

E059	Sorgente di Villa Spada a Quiesa	45	16
F008	Nera a Visso	0	6
F022	Ussita a Visso	0	10
F023	Velino a Posta	0	3
G001	Aterno a Treponti	29	6
G005	Feltrino a San Vito	19	6
G006	Mavone ad Isola del Gran Sasso	13	11
G010	Rio Arno a Ponte Rio Arno	52	7
G011	Ruzzo a Pretara	12	7
G017	Tasso a Scanno	13	4
G020	Verde a Viscardi	26	8
G022	Zittola a Montenero	25	8
G023	Biferno a Ponte della Fiumara	31	6
H007	Fibreno a Brocco ponte tapino	4	6
H015	Melfa a Picinisco	7	11
H016	Melfa ad Atina	1	12
H017	Rapido a Sant'Elia Fiumerapido	6	9
H019	Sarno a San Valentino Torio	6	16
H027	Torano a Piedimonte d'Alife	22	10
H028	Tuscano a Olevano sul Tusciano	6	4
J008	Lapilloso a Ponte SS 168	10	4
J014	Salsola a Casanova	18	8
J018	Vulgano a Ponte Troia Lucera	18	4
K003	Alaco a Mammone	10	4
K004	Alaco a Pirrella	8	6
K005	Alli a Orso	31	10
K009	Annunziata a Straorino	5	7
K010	Basento a Pignola	24	3
K016	Careri a Bosco	11	7
K017	Cognati a Pizzuto	6	2
K021	Duverso a Santa Giorgia	13	7
K023	Garga a Torre Garga	9	2
K025	Lese a Schiena d'Asino	11	2
K026	Metramo a Castagnara	11	4
K029	Noce a La Calda	29	5

K032	Savuto a Poverella	0	3
K035	Tacina a Rivotto	23	5
K036	Vasi a Scifà	2	4
L001	Alcantara a San Giacomo	12	8
L004	Anapo a San Nicola	23	4
L005	Asinaro a Noto	9	1
L006	Baiata a Sapone	16	2
L007	Belice destro a Sparacia	33	11
L010	Cassibile a Manghisi	9	2
L011	Castello a Castello	12	7
L014	Dittaino a Bozzetta	17	4
L015	Eleuterio a Lupo	53	12
L016	Eleuterio a Risalaimi	28	13
L017	Elicone a Falcone	16	6
L018	Fastaia a La China	34	5
L020	Flascio a Zarbata	13	8
L023	Imera Meridionale a Petralia	20	13
L029	Isnello a Ponte Grande	11	11
L030	Jato a Fellamonica	14	10
L031	Martello a Petrosino	13	9
L033	Nocella a Zucco	41	6
L034	Oreto a Parco	76	15
L036	Salso a Raffo	14	11
L039	San Biagio a Mandorleto	20	4
L041	Saraceno a Chiusitta	12	9
L042	Senore a Finocchiarà	8	4
L047	Timeto a Murmari	9	6
L048	Torrente dei Mulini a Guglielmotto	10	12
L052	Valle dell'Acqua a Serena	38	16
M003	Flumendosa a Bau e Mela	7	8
M007	Flumentepido a Flumentepido	5	3
M010	Fluminimaggiore a Fluminimaggiore	14	1
M011	Fluminimannu a Is Acquas	6	8
M017	Rio Foddeddu a Carongiu	6	8
M022	Sicca d'Erba a Bau de Muggieris	5	9

Tabella 32 - Caratteristiche riassuntive dei 198 bacini

ALLEGATO 2: Criteri di selezione dei bacini

- Applicazione del primo criterio dell'analisi di selezione dei bacini:

Codice Bacino	Nome Bacino	n°anni dati contemporaneità	1° Criterio:n°anni contemporaneità >=15
A008	Arda a Mignano (diga del serbatoio)	71	OK
A009	Artanavaz (Dora Baltea) a St Oyen	0	NO
A010	Aveto (Tebbia) a Cabanne	17	OK
A011	Ayasse (Dora Baltea) a Champorcher	21	OK
A014	Bevera a Colombaio	17	OK
A016	Borbore a San Damiano d'Asti	17	OK
A019	Bormida di Mallare a Ferrania	20	OK
A023	Bormida di Spigno a Valla	49	OK
A024	Bousset a Tetti Porcera	0	NO
A026	Breuil a Alpette	0	NO
A027	Bucera a Ponte Rovine	0	NO
A028	Buthier a Place Moulin	0	NO
A030	Cervo (Sesia) a Passobreve	28	OK
A033	Chiavanne a Alpette	8	NO
A034	Chiese Malga Bissina	38	OK
A038	Chisone a Soucheres Basses	17	OK
A042	Clarea a presa centrale Chiomonte	0	NO
A043	Corsaglia (Tanaro) a Presa Centrale Molline	1	NO
A044	Dolo (Secchia) a Fontanaluccia (diga del serbatoio)	21	OK
A045	Dora Baltea a Cignana	0	NO
A046	Dora Baltea a Beauregard	0	NO
A054	Dora di Rhemes a PÃlaud	1	NO
A055	Dora di Rhemes a Notre Dame	13	NO
A062	Elvo a Sordevolo	2	NO
A064	Erro (Bormida) a Sassello	16	OK
A067	Galambra a presa centrale Chiomonte	0	NO
A068	Gesso della Barra a San Giacomo	0	NO
A070	Gesso di Entracque a Diga di Piastra	4	NO

A072	Gesso di Monte Colombo a San Giacomo	0	NO
A075	Isorno a Pontetto	15	OK
A077	Lys a d'Ejola	6	NO
A078	Lys (Dora Baltea) a Gressoney St. Jean	13	NO
A080	Maira a Saretto	16	OK
A085	Marmore a Perreres	10	NO
A087	Melezet a Melezet	15	OK
A088	Meris a Sant'Anna Valdieri	5	NO
A092	Nontey a Valnontey	5	NO
A106	Po a Crissolo	20	OK
A122	Rio Bagni (Stura di Demonte) a Bagni di Vinadio	0	NO
A123	Rio del Piz (Stura di Demonte) a Pietraporzio	0	NO
A124	Rio Freddo a Rio Freddo	7	NO
A126	Rochemolles a Rochemolles	0	NO
A127	Rutor a La Joux	22	OK
A128	Rutor (Dora Baltea) a Promise	15	OK
A131	San Giovanni a Possaccio	14	NO
A132	Sarca a Ponte Plaza	27	OK
A135	Sarca di Nambron a Pian di Nambron	44	OK
A136	Sarca di Val Genova Malga Ceret	15	OK
A138	Savara a Eau Rousee	8	NO
A145	Sermenza a Rimasco	44	OK
A157	Stura di Viù a Lago della Rossa	0	NO
A158	Stura di Viù a Malciaussia	47	OK
A159	Stura di Viù a Usseglio	9	NO
A172	Taro a S.Maria	18	OK
A173	Taro a Piane di Carniglia	29	OK
A180	Tidone a Molato (diga del serbatoio)	4	NO
A181	Toce a Lago Busin	8	NO
A182	Toce a Lago d'Avino	27	OK
A183	Toce a Agaro	0	NO
A184	Toce a Lago Vannino	12	NO
A185	Toce a Lago del Sabbione	9	NO

A186	Toce a Codelago	0	NO
A190	Trebbia a Due Ponti	21	OK
A194	Varaita a Castello	54	OK
A197	Vermenagna (Stura di Demonte) a Limone	0	NO
A198	Vobbia a Vobbietta	14	NO
B001	Bidente di Corniolo a Campigna	18	OK
B002	Bidente di Ridracoli a Ridracoli (diga del serbatoio)	31	OK
B003	Brasimone (Setta) a Santa Maria (diga del serbatoio)	28	OK
B004	Correcchio (Reno) a Contrada Il Portone	27	OK
B009	Limentra di Riola (Reno) a Stagno	28	OK
B010	Limentra di Sambuca (Reno) a Pavana (diga del serbatoio)	41	OK
B011	Limentra di Treppio (Reno) a Suviana (diga del serbatoio)	22	OK
B012	Orsigna (Reno) a Setteponti	7	NO
B013	Quaderna (Reno) a Palesio	25	OK
B014	Reno a Pracchia	61	OK
B015	Reno a Molino di Pallone	26	OK
B021	Rio Faldo (Reno) a Setteponti	0	NO
B024	Savena (Reno) a Castel dell'Alpi	20	OK
B029	Silla (Reno) a Silla	9	NO
B030	Aso a Comunanza Sant'Anna	21	OK
B041	Fiastrone a Fiume	4	NO
B042	Fluvione a Ponte Pugliese	5	NO
B047	Potenza a Spindoli	6	NO
B049	Scandarello a Scandarello	19	OK
B051	Tenna ad Amandola	40	OK
C022	Boite a Podestagno	0	NO
C028	Cellina a Stich Lesis	5	NO
C033	Cordevole a Digonera	0	NO
C037	Diga di Ambiesta	5	NO
C038	Diga di Careser	25	OK
C039	Diga di Forte Buso	22	OK
C043	Diga di Speccheri	12	NO

C046	Diga di Tul	23	OK
C048	Fiorentina a Pezzegù	0	NO
C057	Padola a Ponte Padola	0	NO
C058	Passirio a Belprato	0	NO
C060	Pettorina a Malga Ciapela	0	NO
C061	Piave a Ponte Cordevole	14	NO
C066	Plan a Plan	11	NO
C071	Rio Anterselva a Bagni Salomone	23	OK
C073	Rio Massiaga a Agordina	19	OK
C074	Riva a Seghe di Riva	23	OK
D003	Bagnone a Bagnone	23	OK
D005	Bisagno a La Presa	32	OK
D007	Graveglia a Caminata	23	OK
D008	Impero a Ruge di Pontedassio	24	OK
D010	Lerrone a Villanova d'Albenga	14	NO
D011	Letimbro a Segheria Piccardo	14	NO
D012	Magra a Piccatello	21	OK
D019	Sansobbia a Ponte Poggi	33	OK
D020	Sansobbia a Ellera	1	NO
D022	Taverone a Licciana	4	NO
E003	Arno a Stia	38	OK
E014	Bisenzio a Praticello	42	OK
E019	Bovalico a San Mamiliano	22	OK
E020	Brana a Burgianico	25	OK
E025	Cornia a Frassine	16	OK
E030	Farma a Ponte di Torniella	40	OK
E031	Fegana a Ponte a Bussato	28	OK
E032	Frigido a Canevara	50	OK
E038	Massera a Molino del Balzone	27	OK
E041	Milia a Grillandina	17	OK
E042	Milia a Calzalunga	2	NO
E043	Nievole a Colonna	33	OK
E045	Ombrone Pistoiese a Ponte della Calciaiola	12	NO
E050	Pescia di Pescia a Molino Narducci	34	OK

E051	Rio Sana a Cartiera Valgiano	19	OK
E059	Sorgente di Villa Spada a Quiesa	45	OK
F008	Nera a Visso	0	NO
F022	Ussita a Visso	0	NO
F023	Velino a Posta	0	NO
G001	Aterno a Treponti	29	OK
G005	Feltrino a San Vito	19	OK
G006	Mavone ad Isola del Gran Sasso	13	NO
G010	Rio Arno a Ponte Rio Arno	52	OK
G011	Ruzzo a Pretara	12	NO
G017	Tasso a Scanno	13	NO
G020	Verde a Viscardi	26	OK
G022	Zittola a Montenero	25	OK
G023	Biferno a Ponte della Fiumara	31	OK
H007	Fibreno a Brocco ponte tapino	4	NO
H015	Melfa a Picinisco	7	NO
H016	Melfa ad Atina	1	NO
H017	Rapido a Sant'Elia Fiumerapido	6	NO
H019	Sarno a San Valentino Torio	6	NO
H027	Torano a Piedimonte d'Alife	22	OK
H028	Tuscano a Olevano sul Tusciano	6	NO
J008	Lapilloso a Ponte SS 168	10	NO
J014	Salsola a Casanova	18	OK
J018	Vulgano a Ponte Troia Lucera	18	OK
K003	Alaco a Mammone	10	NO
K004	Alaco a Pirrella	8	NO
K005	Alli a Orso	31	OK
K009	Annunziata a Straorino	5	NO
K010	Basento a Pignola	24	OK
K016	Careri a Bosco	11	NO
K017	Colognati a Pizzuto	6	NO
K021	Duverso a Santa Giorgia	13	NO
K023	Garga a Torre Garga	9	NO
K025	Lese a Schiena d'Asino	11	NO
K026	Metramo a Castagnara	11	NO

K029	Noce a La Calda	29	OK
K032	Savuto a Poverella	0	NO
K035	Tacina a Rivotto	23	OK
K036	Vasi a Scifà	2	NO
L001	Alcantara a San Giacomo	12	NO
L004	Anapo a San Nicola	23	OK
L005	Asinaro a Noto	9	NO
L006	Baiata a Sapone	16	OK
L007	Belice destro a Sparacia	33	OK
L010	Cassibile a Manghisi	9	NO
L011	Castello a Castello	12	NO
L014	Dittaino a Bozzetta	17	OK
L015	Eleuterio a Lupo	53	OK
L016	Eleuterio a Risalaimi	28	OK
L017	Elicone a Falcone	16	OK
L018	Fastaia a La Chinea	34	OK
L020	Flascio a Zarbata	13	NO
L023	Imera Meridionale a Petralia	20	OK
L029	Isnello a Ponte Grande	11	NO
L030	Jato a Fellamonica	14	NO
L031	Martello a Petrosino	13	NO
L033	Nocella a Zucco	41	OK
L034	Oreto a Parco	76	OK
L036	Salso a Raffo	14	NO
L039	San Biagio a Mandorleto	20	OK
L041	Saraceno a Chiusitta	12	NO
L042	Senore a Finocchiara	8	NO
L047	Timeto a Murmari	9	NO
L048	Torrente dei Mulini a Guglielmotto	10	NO
L052	Valle dell'Acqua a Serena	38	OK
M003	Flumendosa a Bau e Mela	7	NO
M007	Flumentepido a Flumentepido	5	NO
M010	Fluminimaggiore a Fluminimaggiore	14	NO
M011	Fluminimannu a Is Acquas	6	NO
M017	Rio Foddeddu a Carongiu	6	NO

M022	Sicca d'Erba a Bau de Muggeris	5	NO
------	--------------------------------	---	----

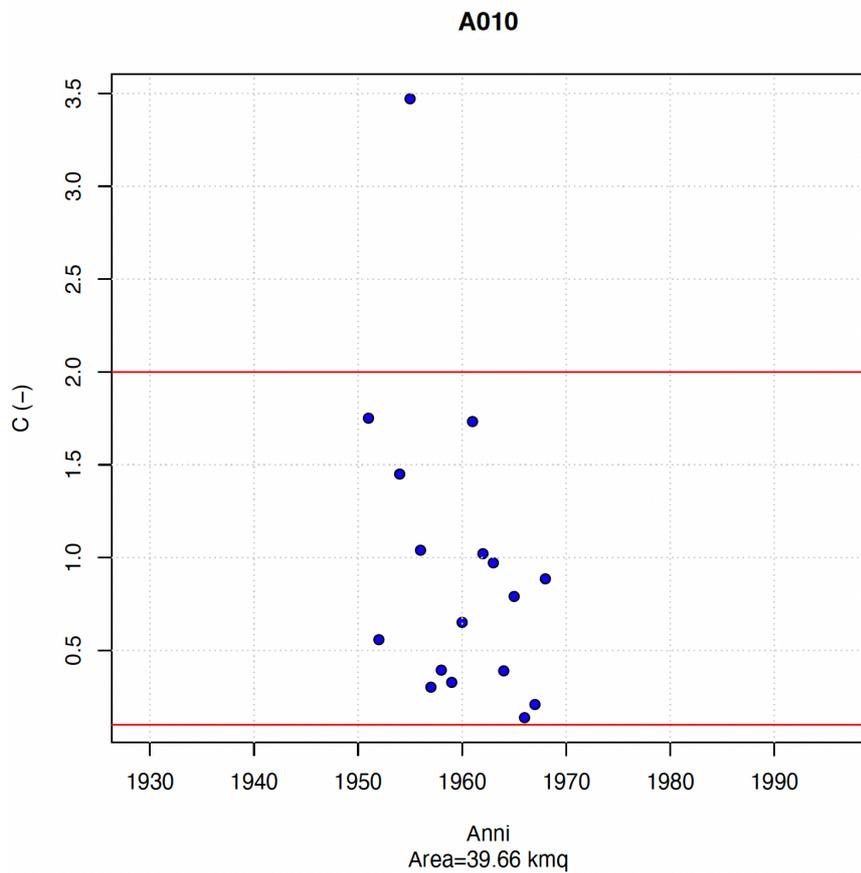
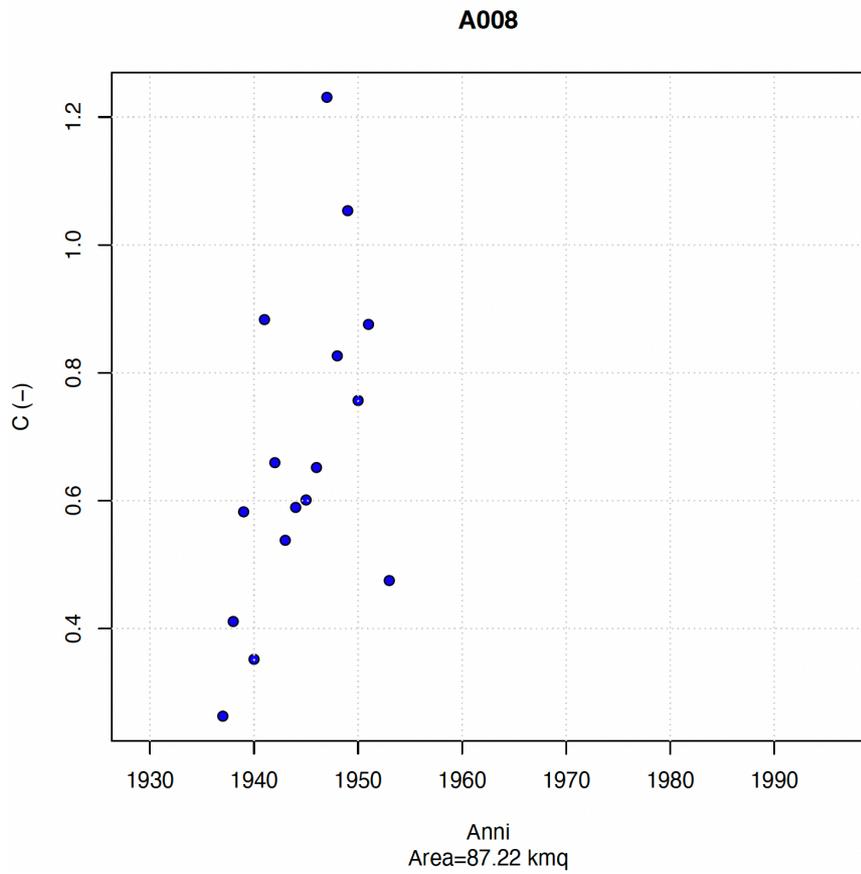
- Applicazione del secondo e terzo criterio dell'analisi di selezione dei bacini:

Codice Bacino	Nome Bacino	Area bacino [km ²]	Quota media [m s.l.m.]	2° Criterio: A<100 km ²	3° Criterio: H<1000 m ²
A008	Arda a Mignano (diga del serbatoio)	87,22	757	OK	OK
A010	Aveto (Trebbia) a Cabanne	39,66	989	OK	OK
A011	Ayasse (Dora Baltea) a Champorcher	42,72	2368	OK	NO
A014	Bevera a Colombaio	37,76	821	OK	OK
A016	Borbore a San Damiano d'Asti	85,31	244	OK	OK
A019	Bormida di Mallare a Ferrania	50,40	604	OK	OK
A023	Bormida di Spigno a Valla	68,46	468	OK	OK
A030	Cervo (Sesia) a Passobreve	75,44	1505	OK	NO
A034	Chiese Malga Bissina	51,30	2430	OK	NO
A038	Chisone a Soucheres Basses	93,26	2221	OK	NO
A044	Dolo (Secchia) a Fontanaluccia (diga del serbatoio)	68,60	1310	OK	NO
A064	Erro (Bormida) a Sassello	91,30	595	OK	OK
A075	Isorno a Pontetto	70,30	1617	OK	NO
A080	Maira a Saretto	55,55	2411	OK	NO
A087	Melezet a Melezet	43,20	2389	OK	NO
A106	Po a Crissolo	37,59	2251	OK	NO
A127	Rutor a La Joux	41,71	2570	OK	NO
A128	Rutor (Dora Baltea) a Promise	45,76	2525	OK	NO
A132	Sarca a Ponte Plaza	69,49	2003	OK	NO
A135	Sarca di Nambron a Pian di Nambron	21,09	2339	OK	NO
A136	Sarca di Val Genova Malga Ceret	53,00	2629	OK	NO
A145	Sermenza a Rimasco	82,33	1855	OK	NO
A158	Stura di Viù a Malciaussia	25,85	2622	OK	NO
A172	Taro a S.Maria	29,87	1058	OK	NO
A173	Taro a Piane di Carniglia	90,27	967	OK	OK
A182	Toce a Lago d'Avino	5,54	2550	OK	NO
A190	Trebbia a Due Ponti	74,48	964	OK	OK
A194	Varaita a Castello	67,80	2406	OK	NO

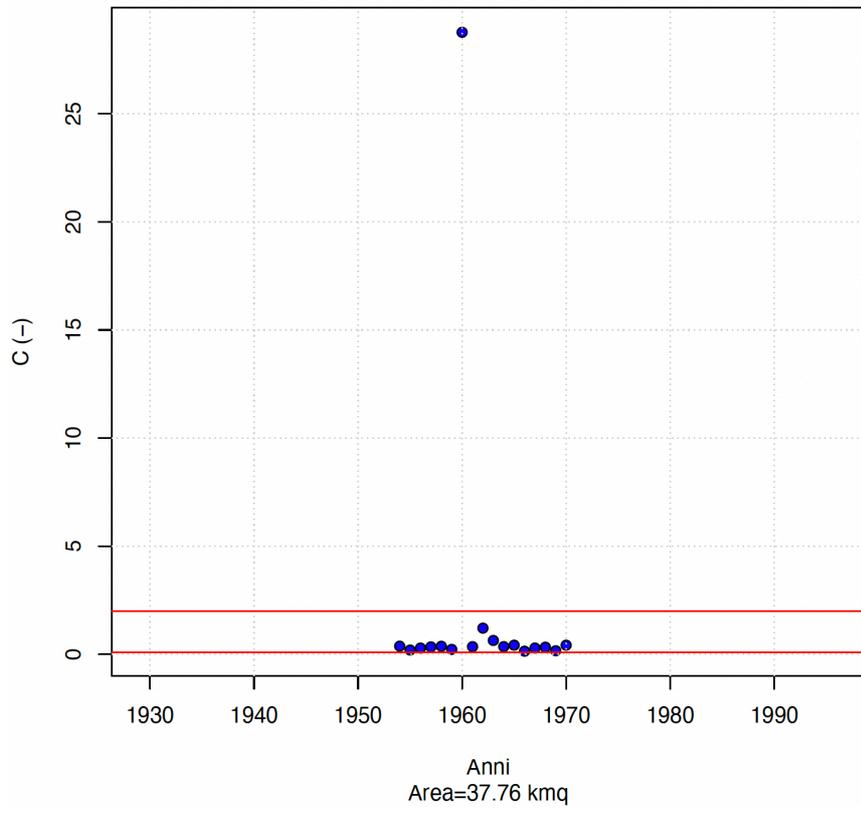
B001	Bidente di Corniolo a Campigna	19,49	1083	OK	NO
B002	Bidente di Ridracoli a Ridracoli (diga del serbatoio)	31,27	922	OK	OK
B003	Brasimone (Setta) a Santa Maria (diga del serbatoio)	27,01	1008	OK	NO
B004	Correcchio (Reno) a Contrada Il Portone	6,68	127	OK	OK
B009	Limentra di Riola (Reno) a Stagno	67,75	888	OK	OK
B010	Limentra di Sambuca (Reno) a Pavana (diga del serbatoio)	39,29	920	OK	OK
B011	Limentra di Treppio (Reno) a Suviana (diga del serbatoio)	77,36	858	OK	OK
B013	Quaderna (Reno) a Palesio	23,31	273	OK	OK
B014	Reno a Pracchia	34,02	915	OK	OK
B015	Reno a Molino di Pallone	81,18	948	OK	OK
B024	Savena (Reno) a Castel dell'Alpi	11,60	1005	OK	NO
B030	Aso a Comunanza Sant'Anna	83,47	1105	OK	NO
B049	Scandarello a Scandarello	44,61	1038	OK	NO
B051	Tenna ad Amandola	98,89	1152	OK	NO
C038	Diga di Careser	10,40	2968	OK	NO
C039	Diga di Forte Buso	66,30	2021	OK	NO
C046	Diga di Tul	23,96	706	OK	OK
C071	Rio Anterselva a Bagni Salomone	83,18	2025	OK	NO
C073	Rio Massiaga a Agordina	4,70	1712	OK	NO
C074	Riva a Seghe di Riva	91,06	2380	OK	NO
D003	Bagnone a Bagnone	52,81	845	OK	OK
D005	Bisagno a La Presa	34,09	579	OK	OK
D007	Graveglia a Caminata	41,10	616	OK	OK
D008	Impero a Ruggie di Pontedassio	68,62	535	OK	OK
D012	Magra a Piccatello	78,36	834	OK	OK
D019	Sansobbia a Ponte Poggi	31,68	514	OK	OK
E003	Arno a Stia	61,66	888	OK	OK
E014	Bisenzio a Praticello	55,46	698	OK	OK
E019	Bovalico a San Mamiliano	6,81	310	OK	OK
E020	Brana a Burgianico	13,11	445	OK	OK
E025	Cornia a Frassine	96,93	332	OK	OK
E030	Farma a Ponte di Torniella	68,29	475	OK	OK

E031	Fegana a Ponte a Bussato	30,50	1050	OK	NO
E032	Frigido a Canevara	46,54	772	OK	OK
E038	Massera a Molino del Balzone	55,78	224	OK	OK
E041	Milia a Grillandina	80,77	382	OK	OK
E043	Nievole a Colonna	31,77	390	OK	OK
E050	Pescia di Pescia a Molino Narducci	48,28	663	OK	OK
E051	Rio Sana a Cartiera Valgiano	3,38	742	OK	OK
E059	Sorgente di Villa Spada a Quiesa	4,88	175	OK	OK
G001	Aterno a Treponti	99,22	1076	OK	NO
G005	Feltrino a San Vito	47,44	214	OK	OK
G010	Rio Arno a Ponte Rio Arno	56,12	1624	OK	NO
G020	Verde a Viscardi	43,72	1722	OK	NO
G022	Zittola a Montenero	33,90	936	OK	OK
G023	Biferno a Ponte della Fiumara	17,23	1365	OK	NO
H027	Torano a Piedimonte d'Alife	5,41	977	OK	OK
J014	Salsola a Casanova	457,91	290	NO	OK
J018	Vulgano a Ponte Troia Lucera	102,68	446	NO	OK
K005	Alli a Orso	47,82	1185	OK	NO
K010	Basento a Pignola	42,53	1077	OK	NO
K029	Noce a La Calda	44,65	1085	OK	NO
K035	Tacina a Riviotto	79,26	1316	OK	NO
L004	Anapo a San Nicola	70,41	634	OK	OK
L006	Baiata a Sapone	29,15	113	OK	OK
L007	Belice destro a Sparacia	100,58	602	NO	OK
L014	Dittaino a Bozzetta	80,72	553	OK	OK
L015	Eleuterio a Lupo	11,19	728	OK	OK
L016	Eleuterio a Risalaimi	84,41	631	OK	OK
L017	Elicone a Falcone	54,85	710	OK	OK
L018	Fastaia a La China	36,05	313	OK	OK
L023	Imera Meridionale a Petralia	29,55	1231	OK	NO
L033	Nocella a Zucco	56,37	540	OK	OK
L034	Oreto a Parco	74,99	594	OK	OK
L039	San Biagio a Mandorleto	74,86	351	OK	OK
L052	Valle dell'Acqua a Serena	21,37	647	OK	OK

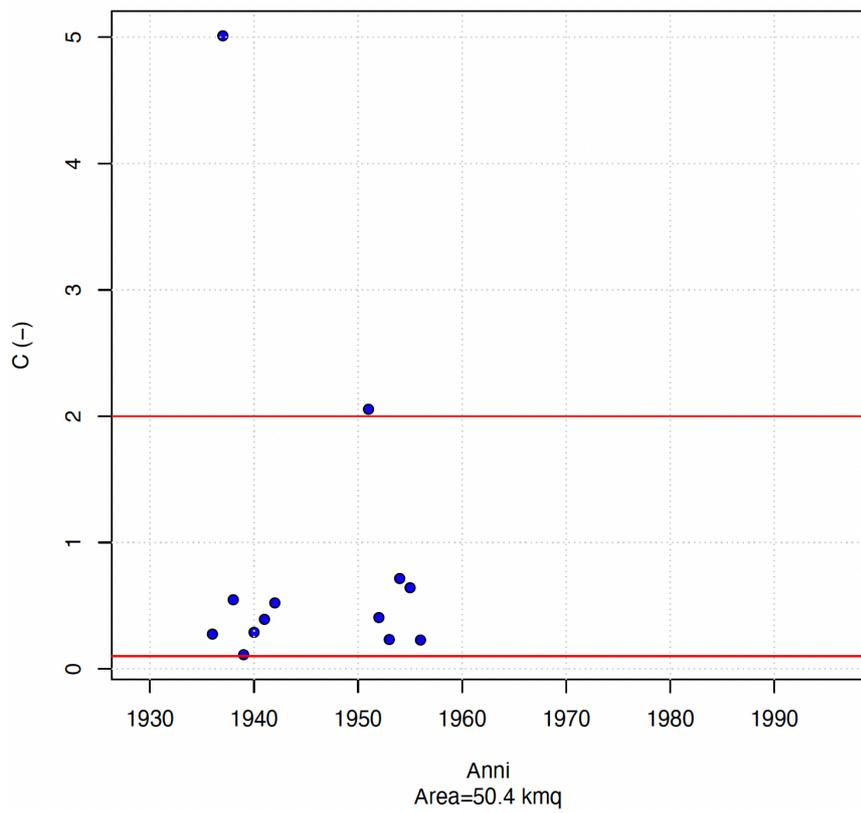
ALLEGATO 3: Rappresentazione dei coefficienti di deflusso



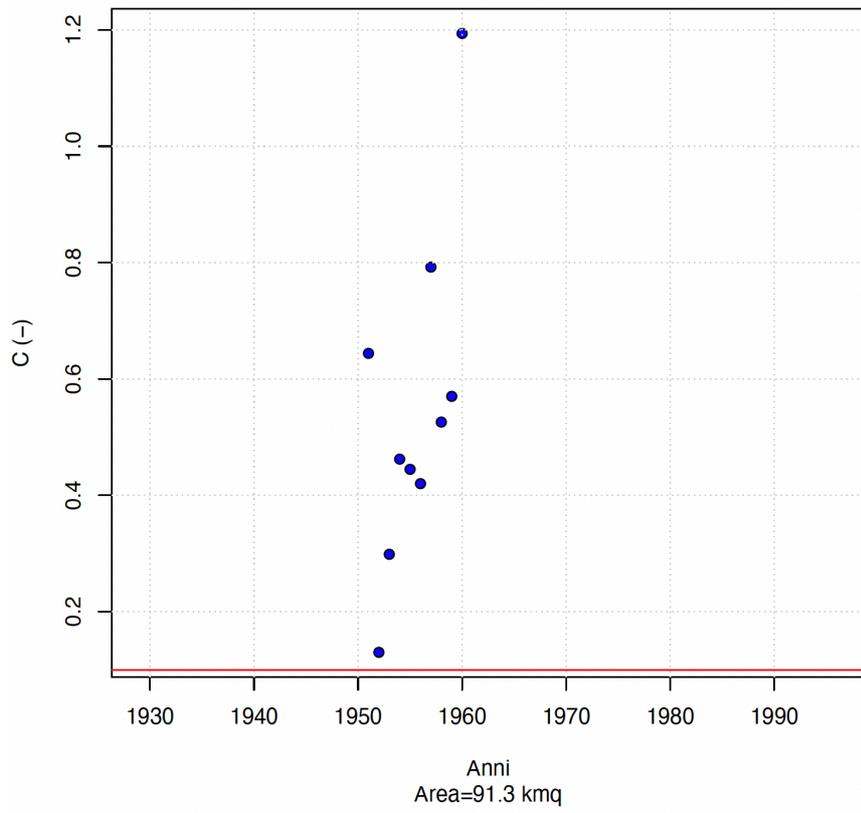
A014



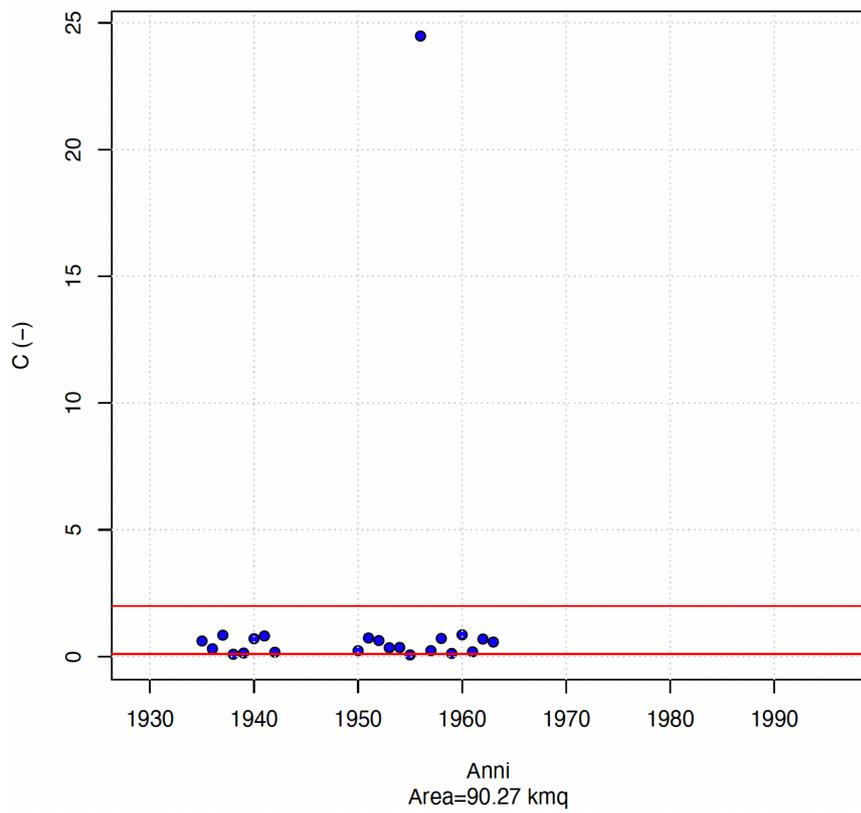
A019



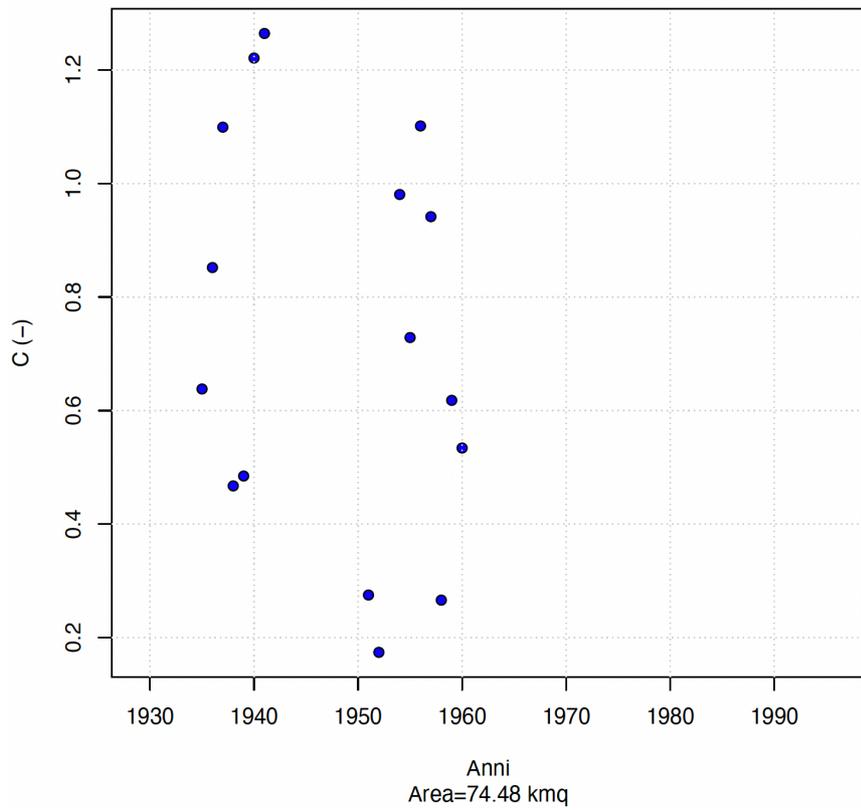
A064



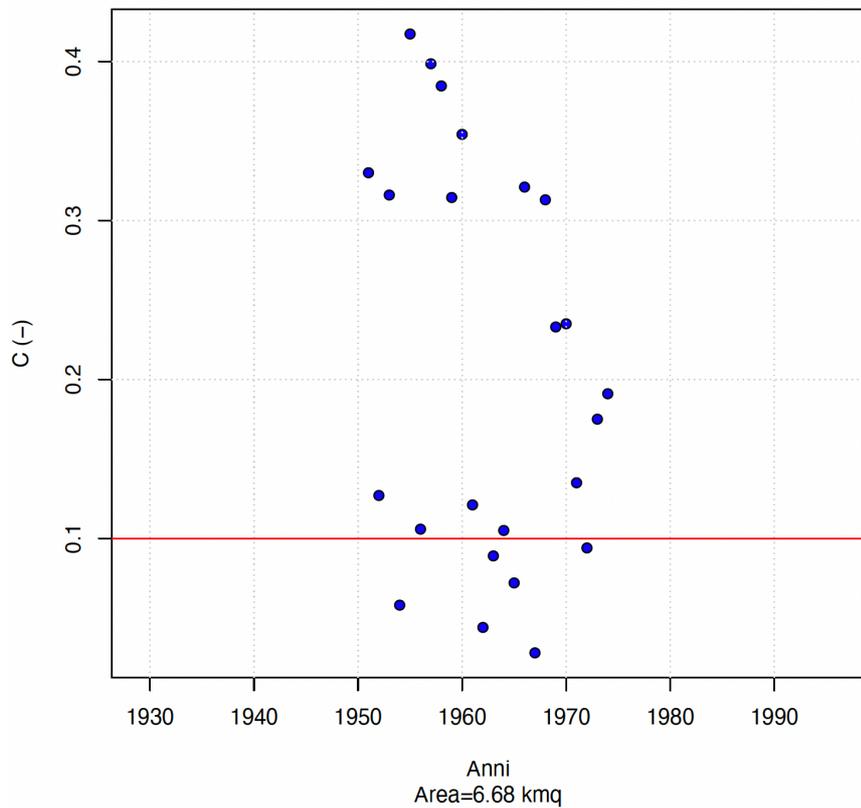
A173



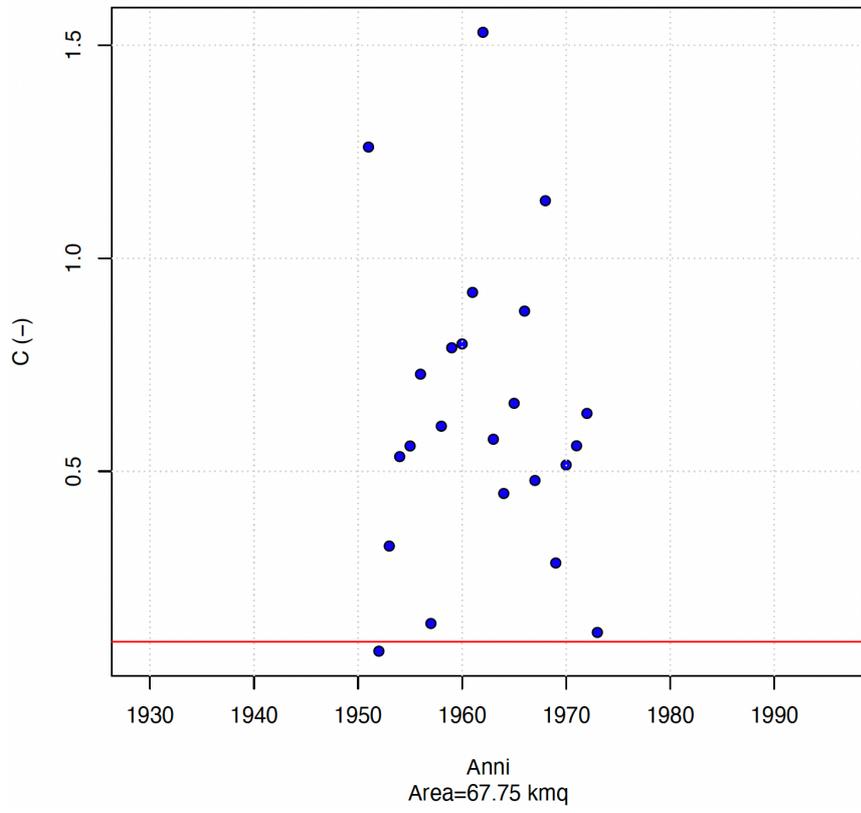
A190



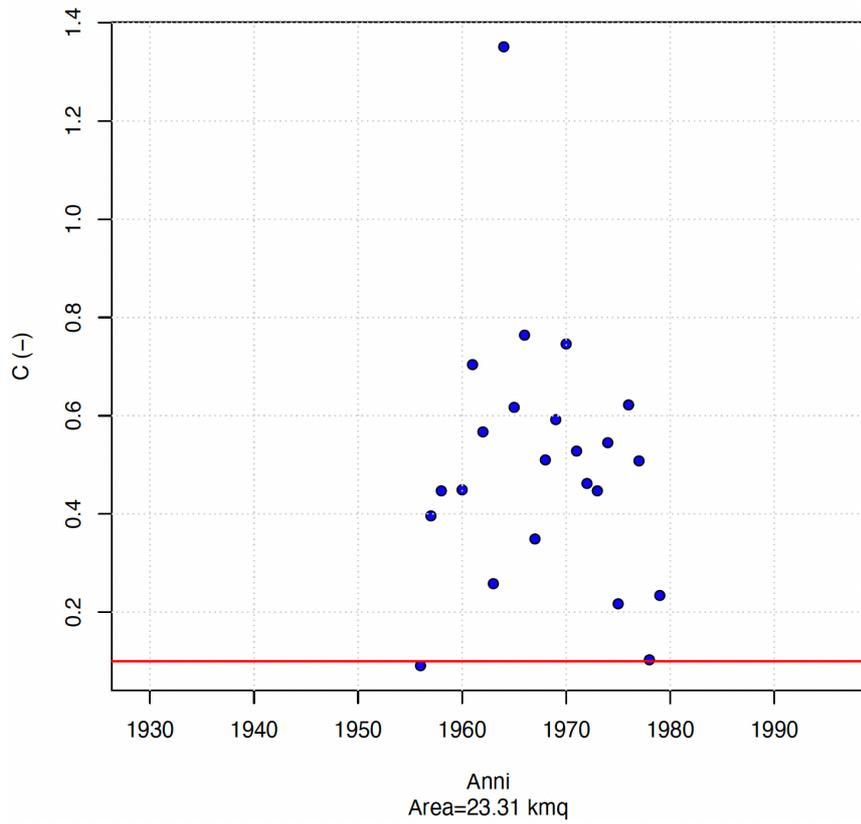
B004



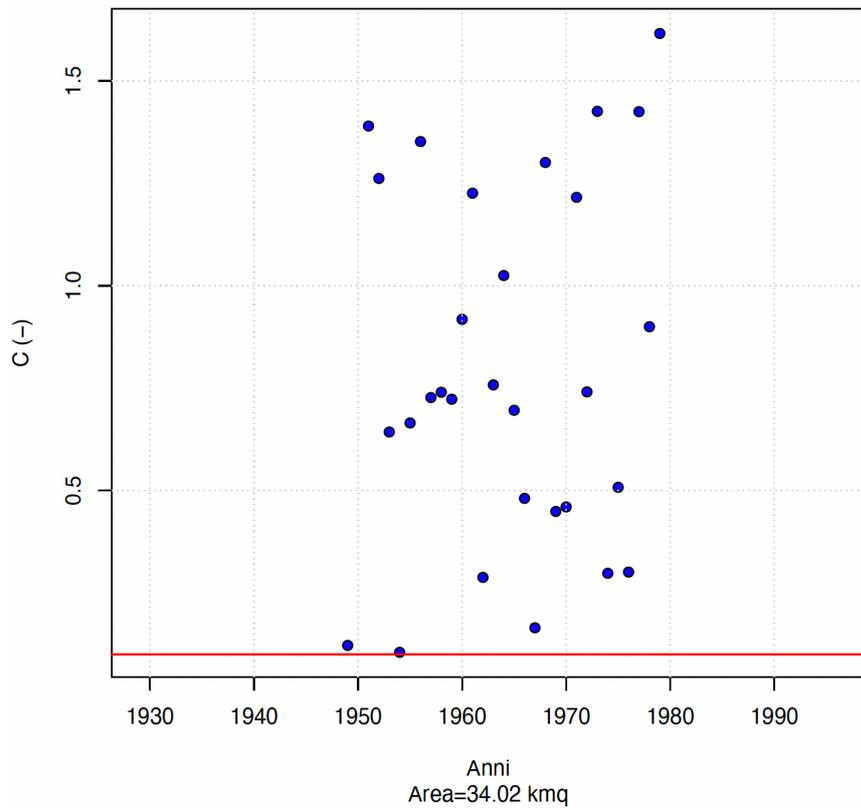
B009



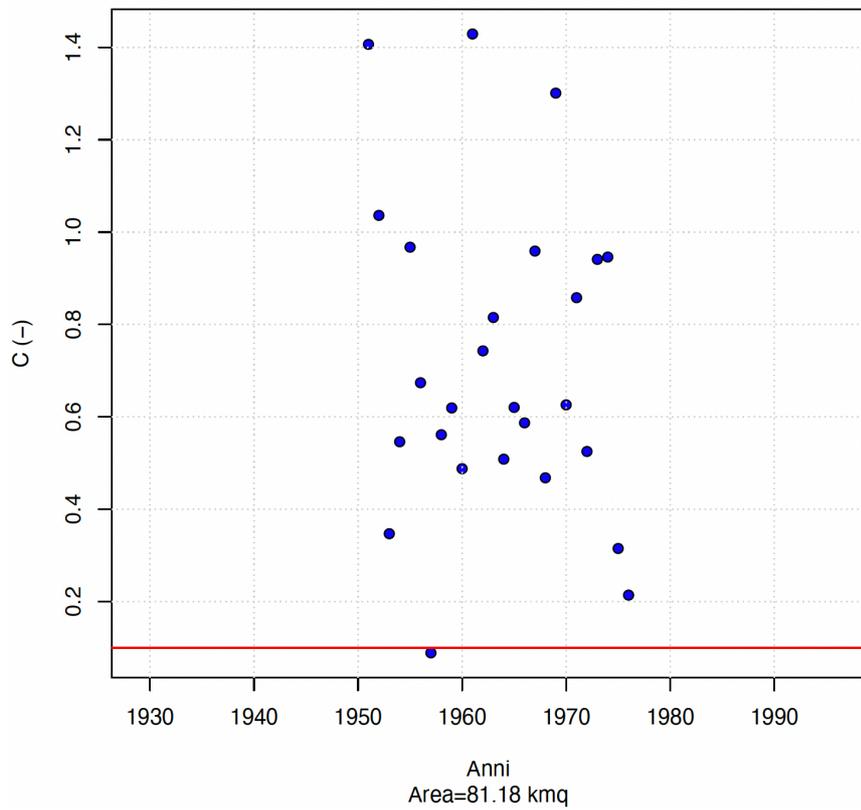
B013



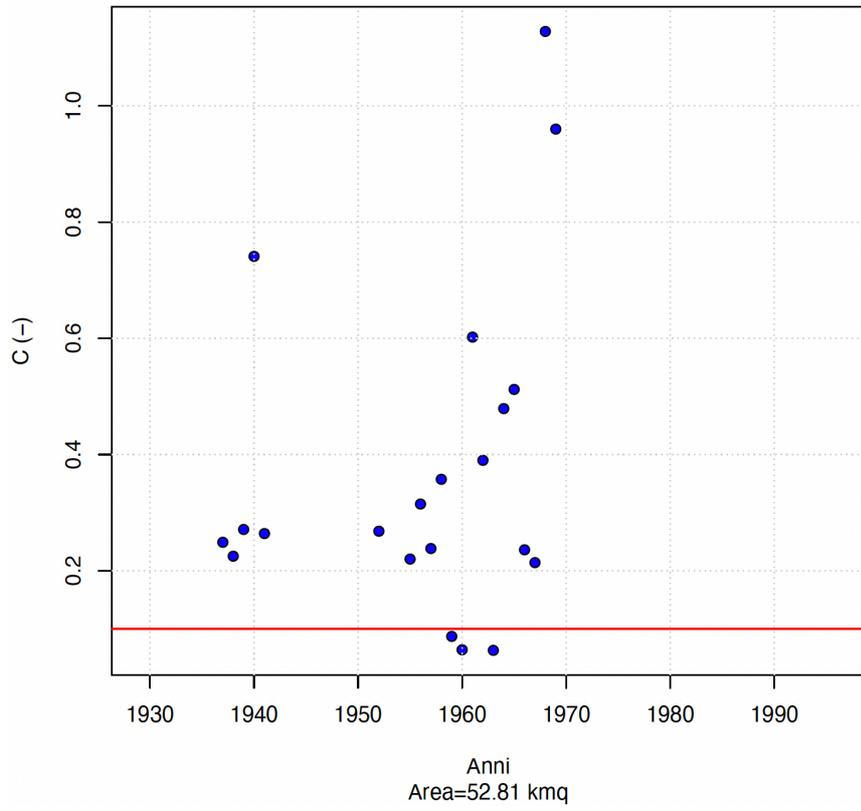
B014



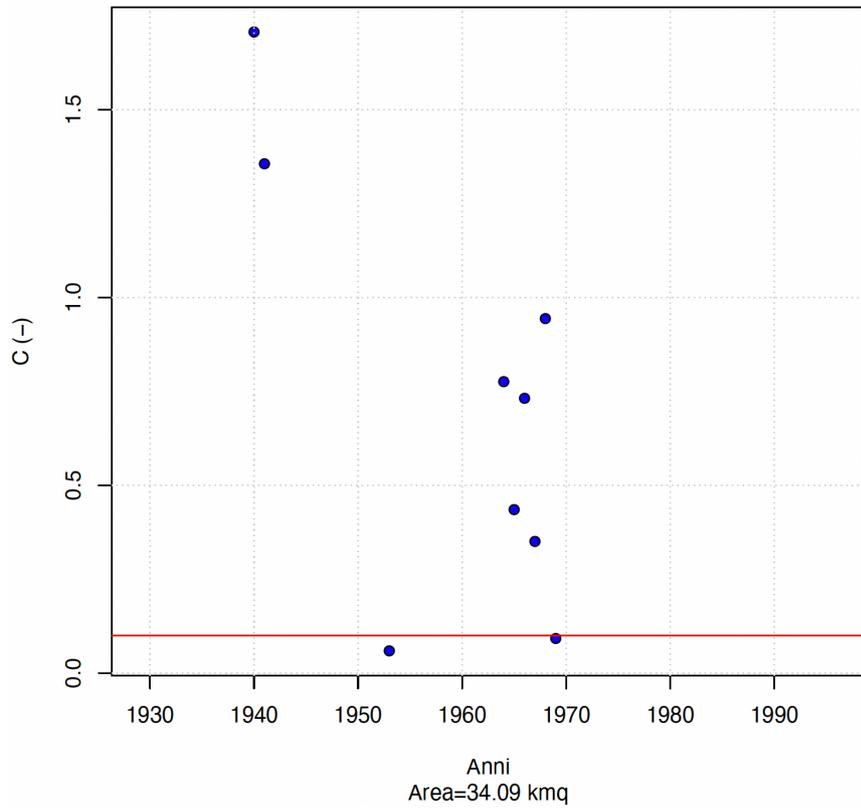
B015



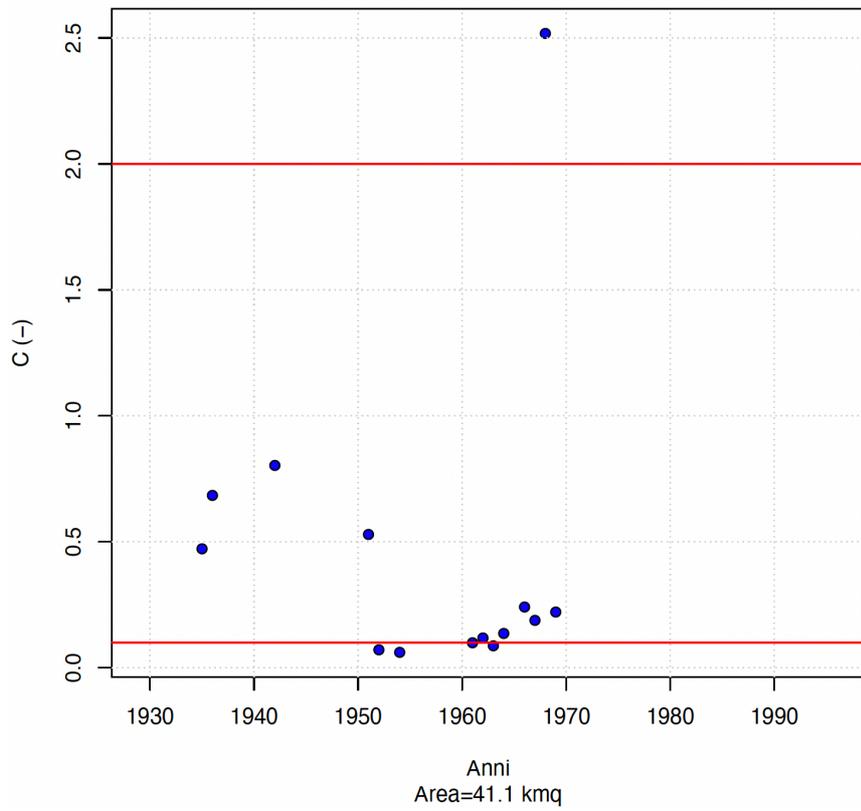
D003



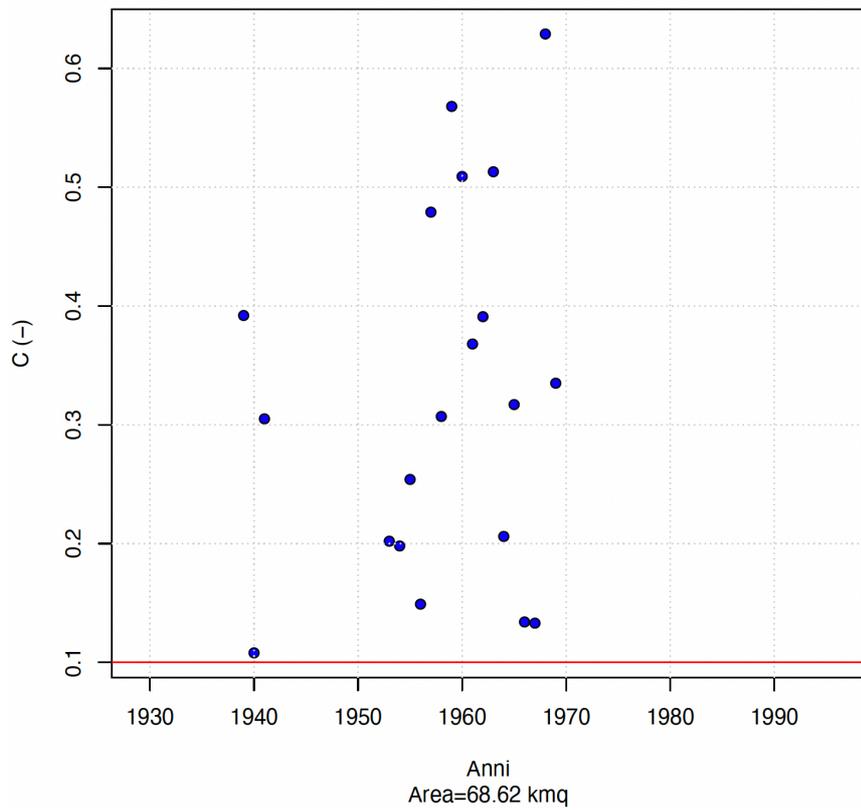
D005



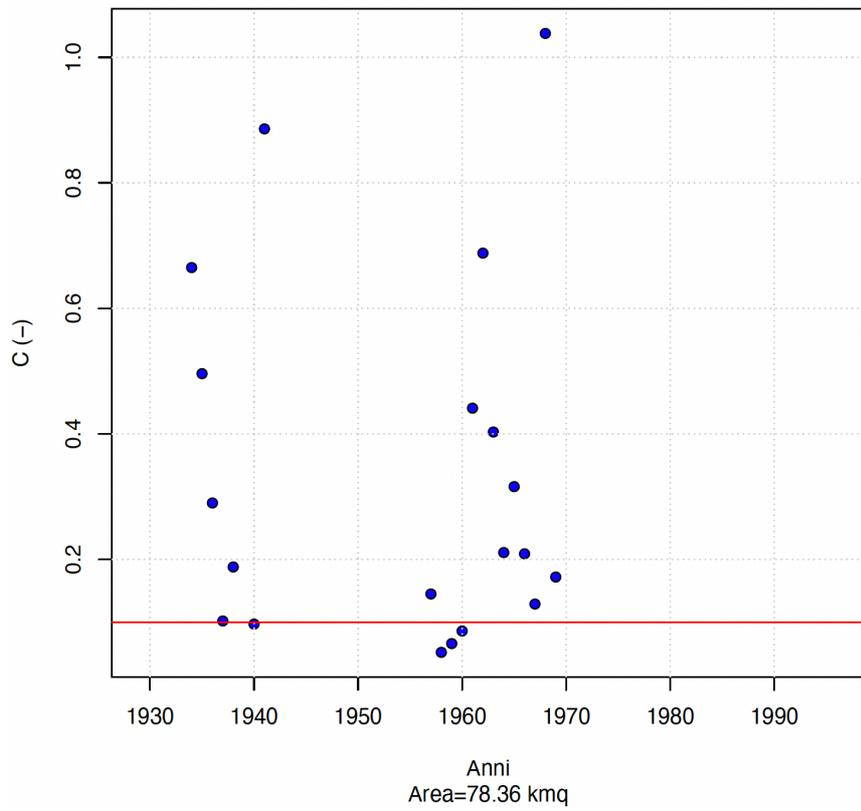
D007



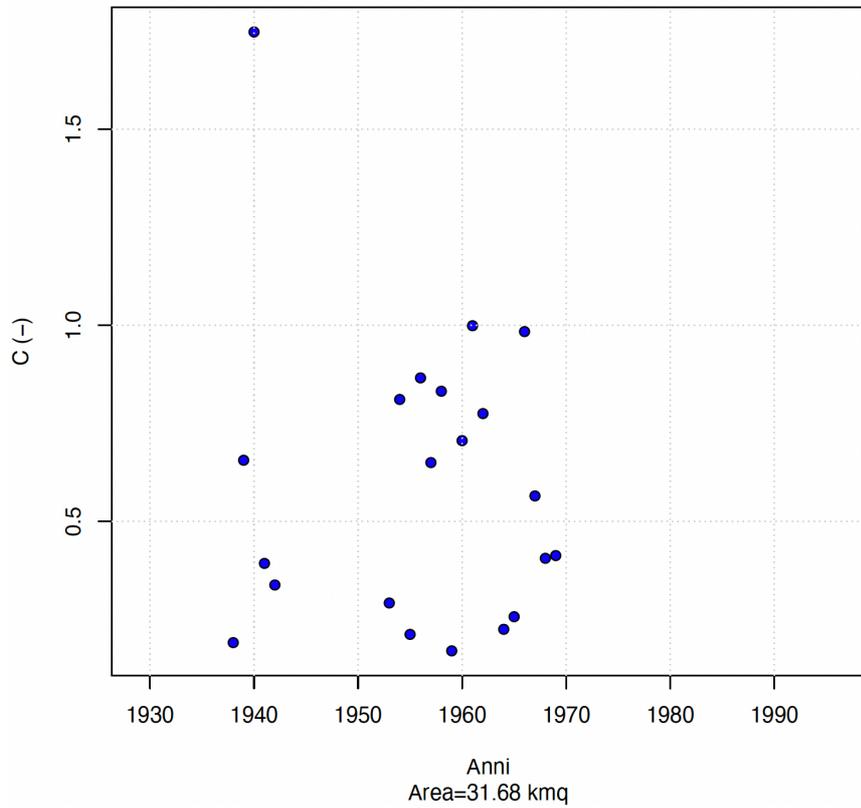
D008



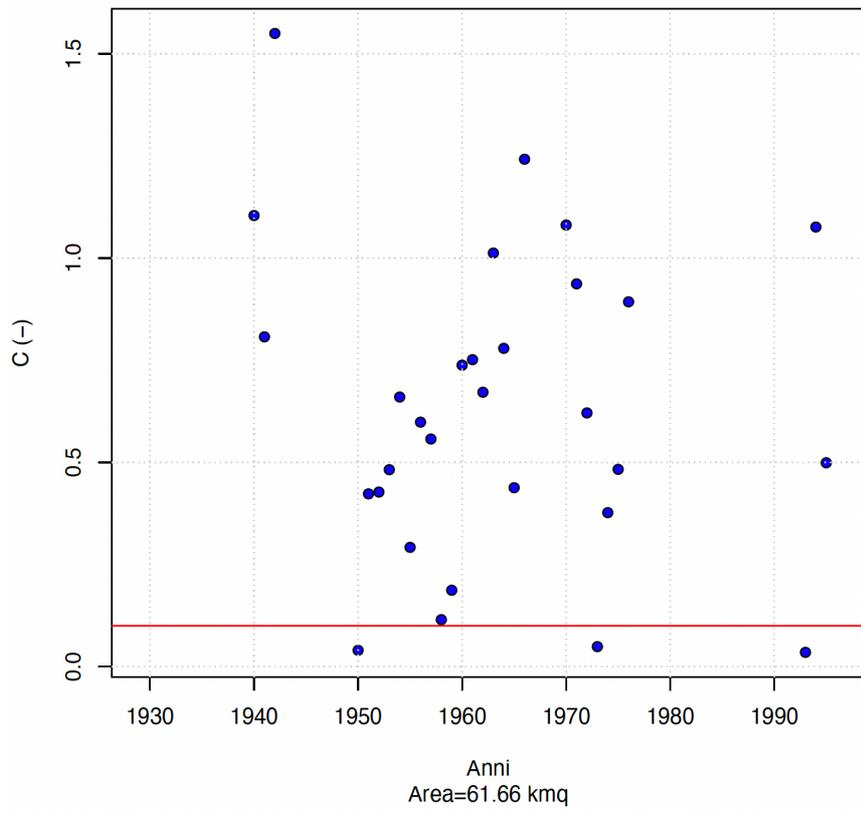
D012



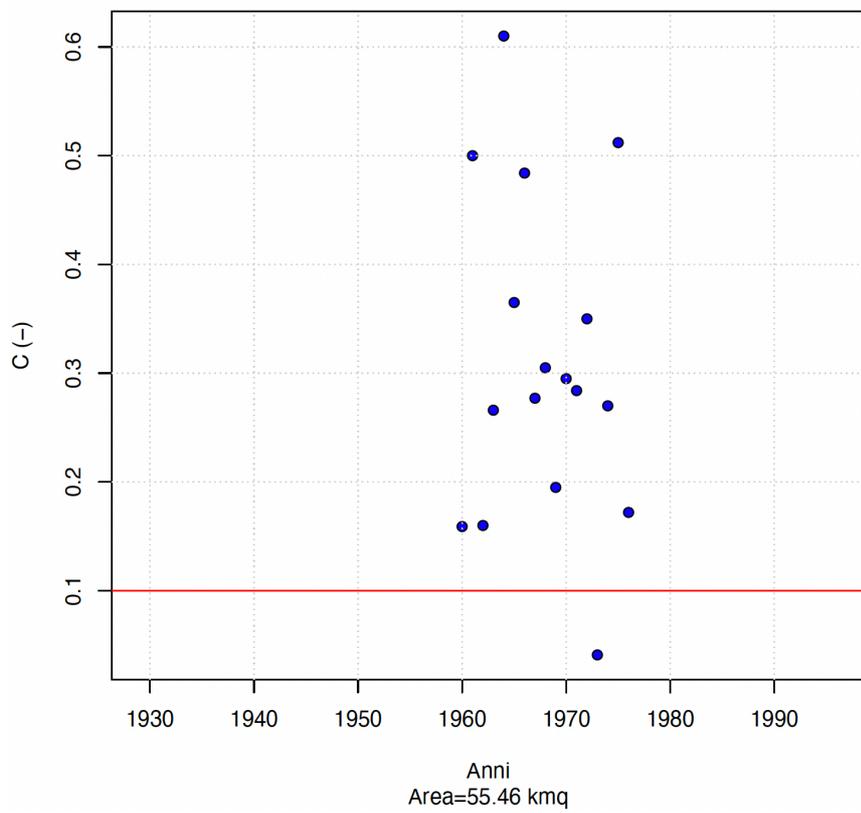
D019



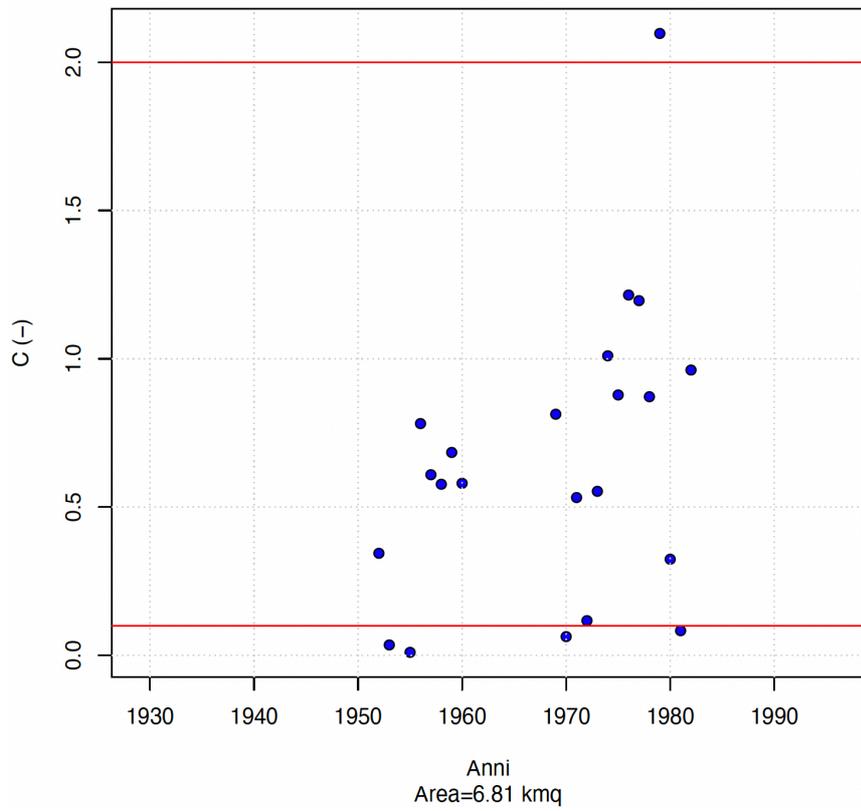
E003



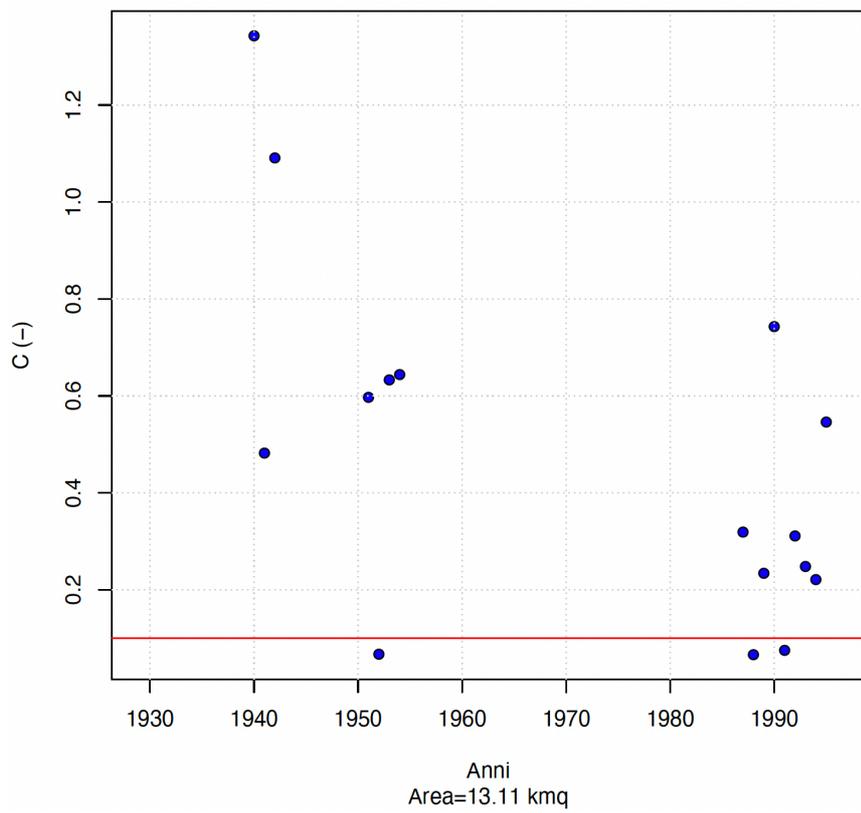
E014



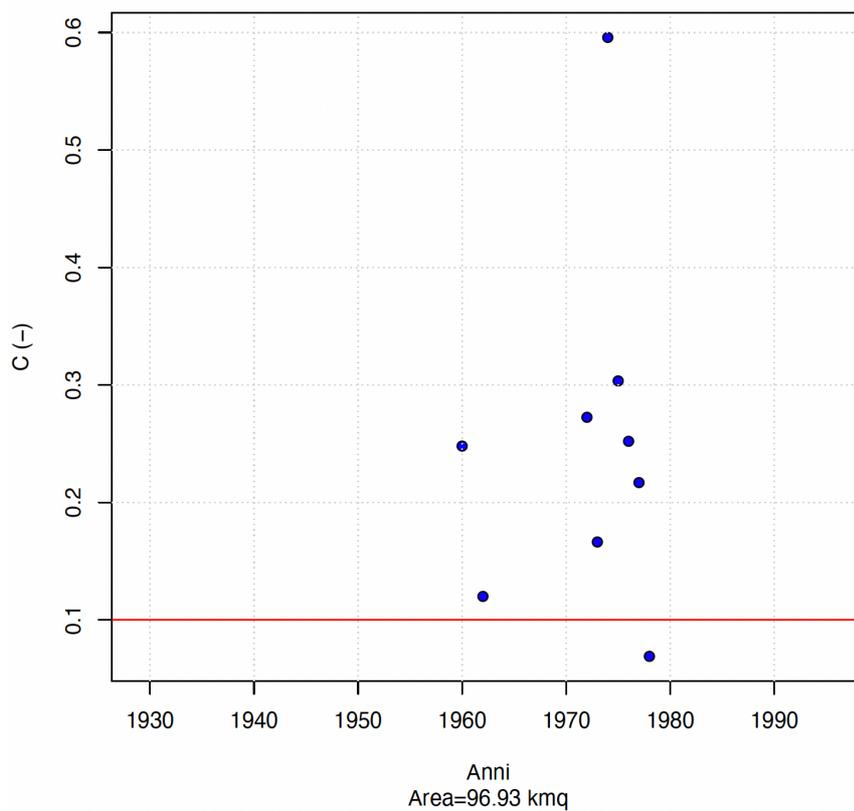
E019



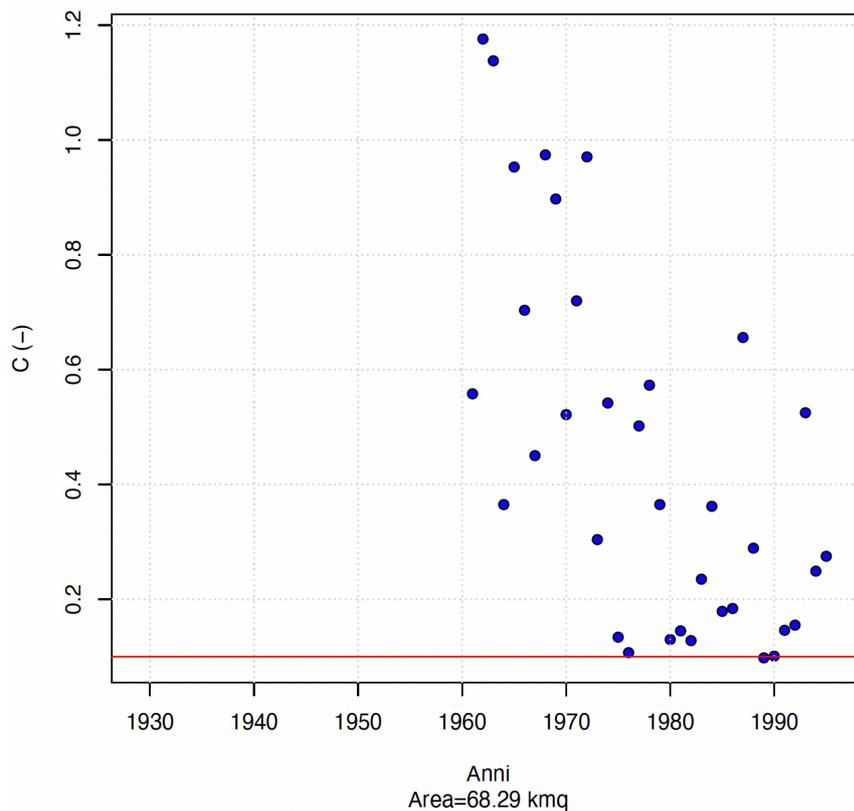
E020



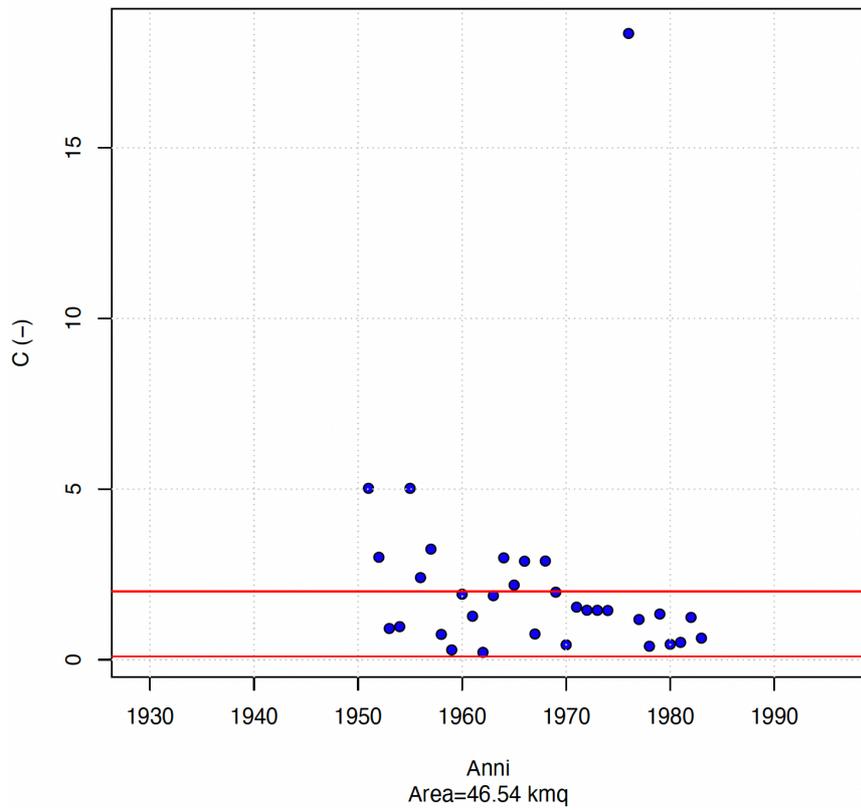
E025



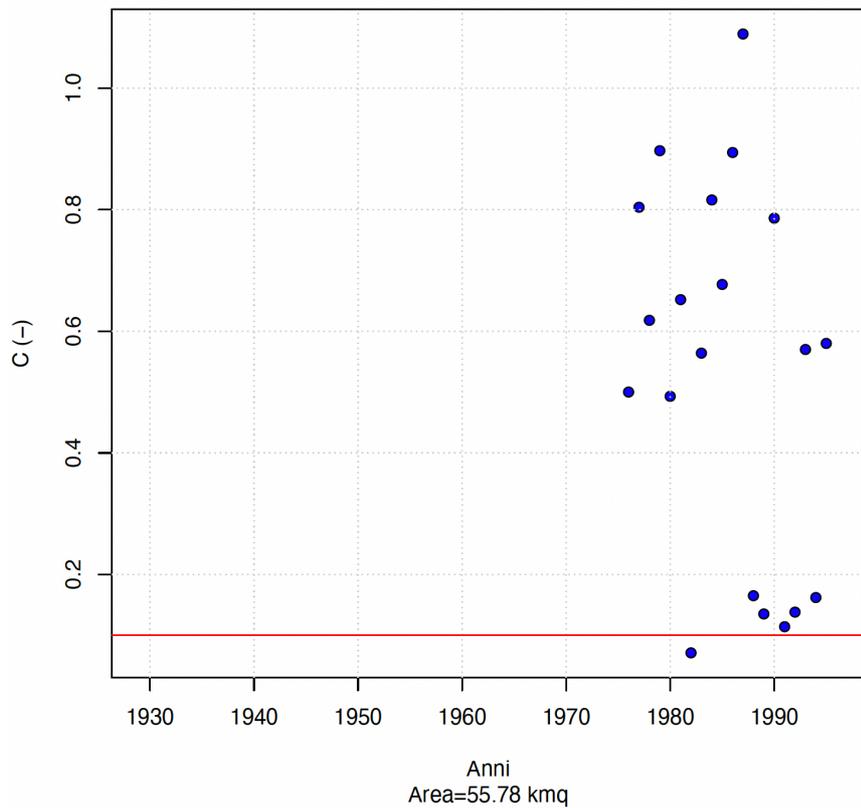
E030

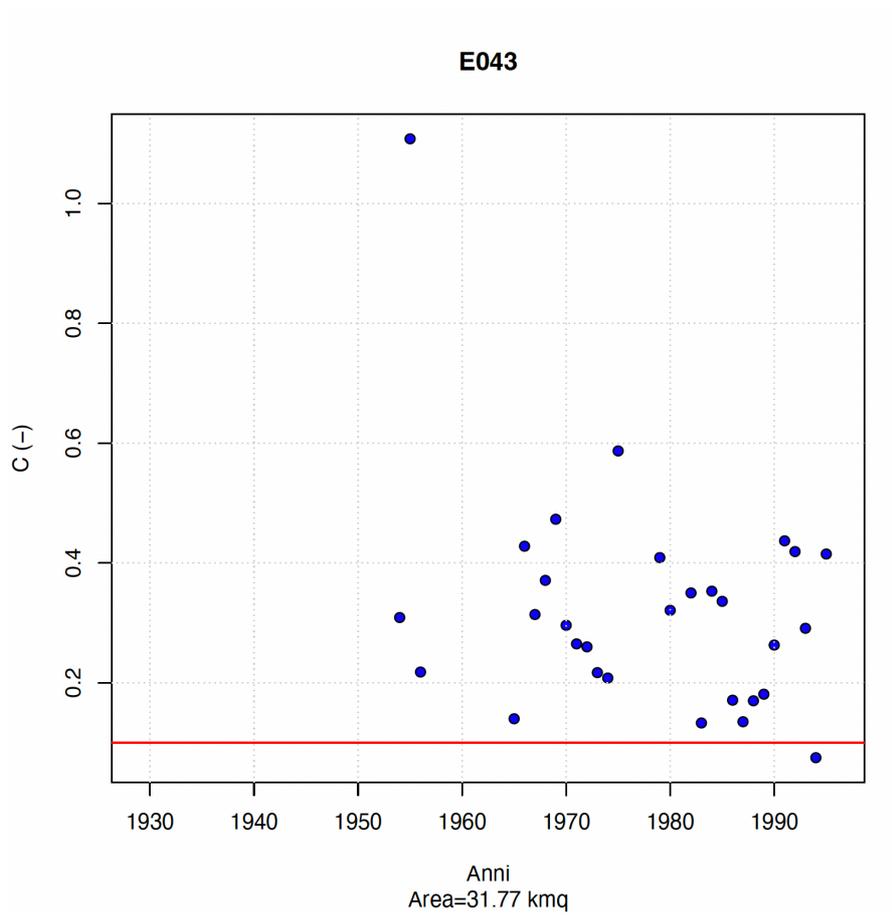
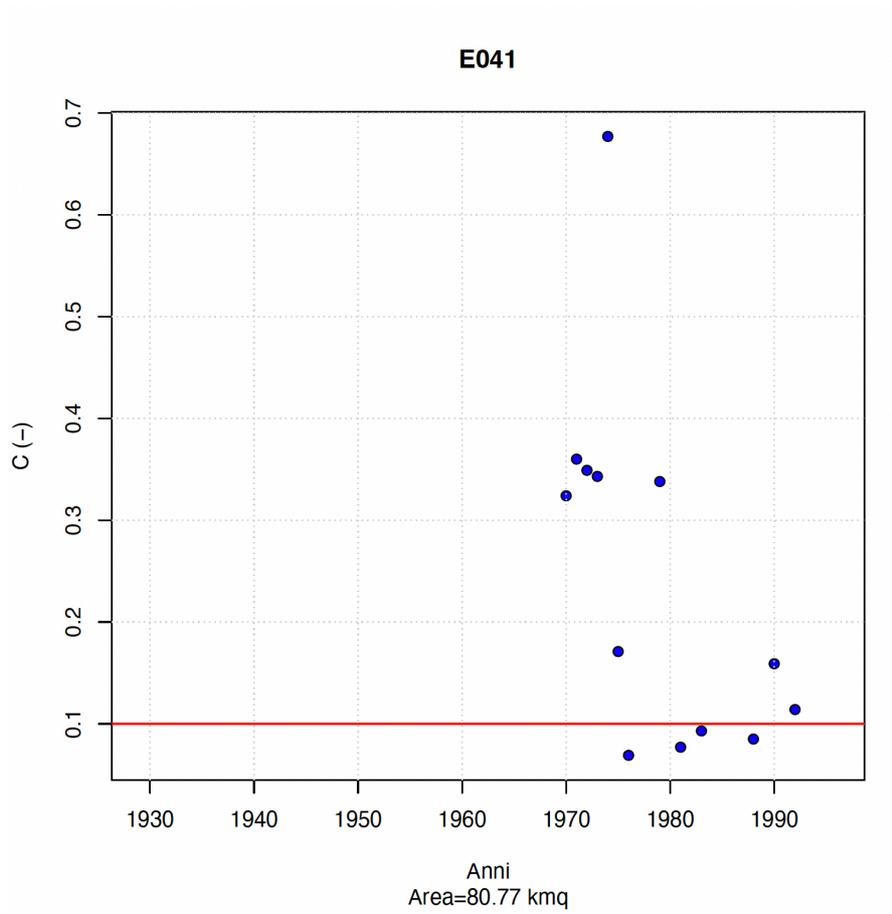


E032

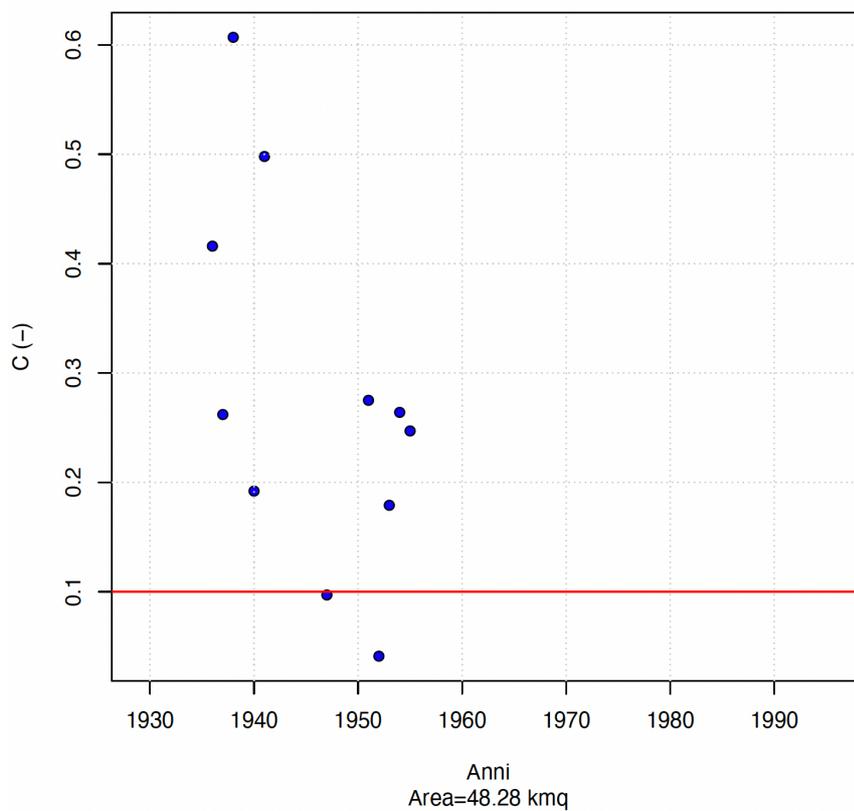


E038

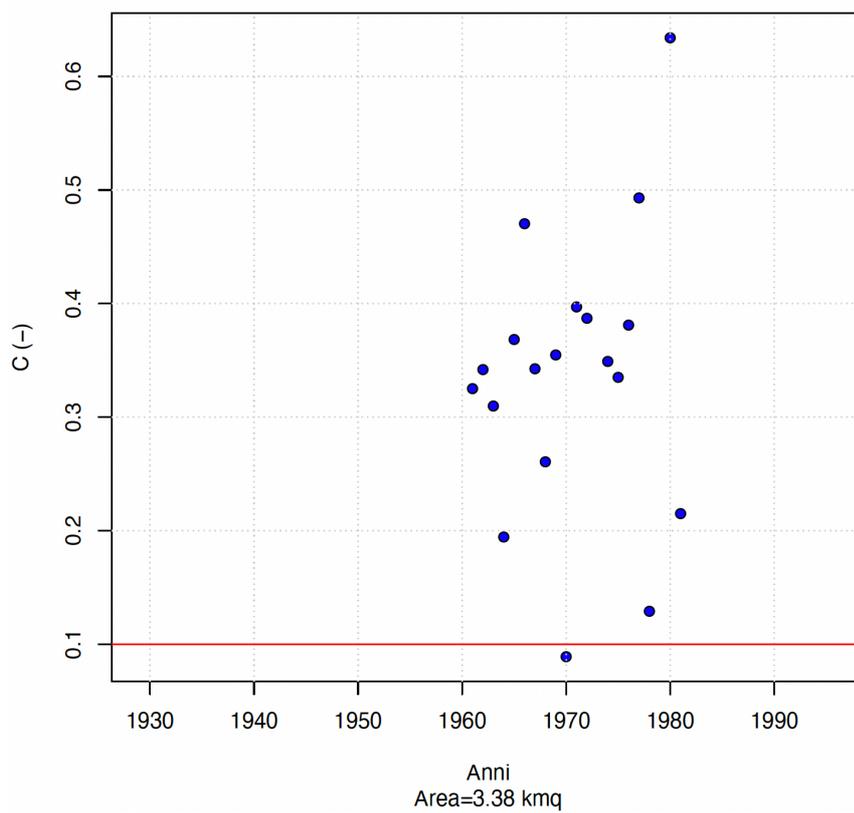




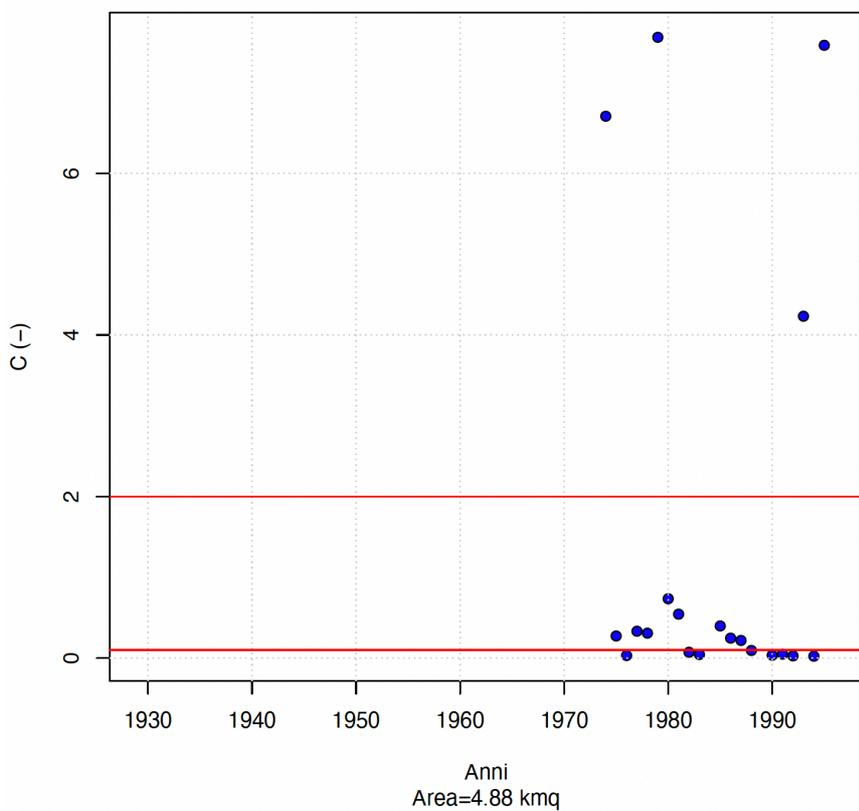
E050



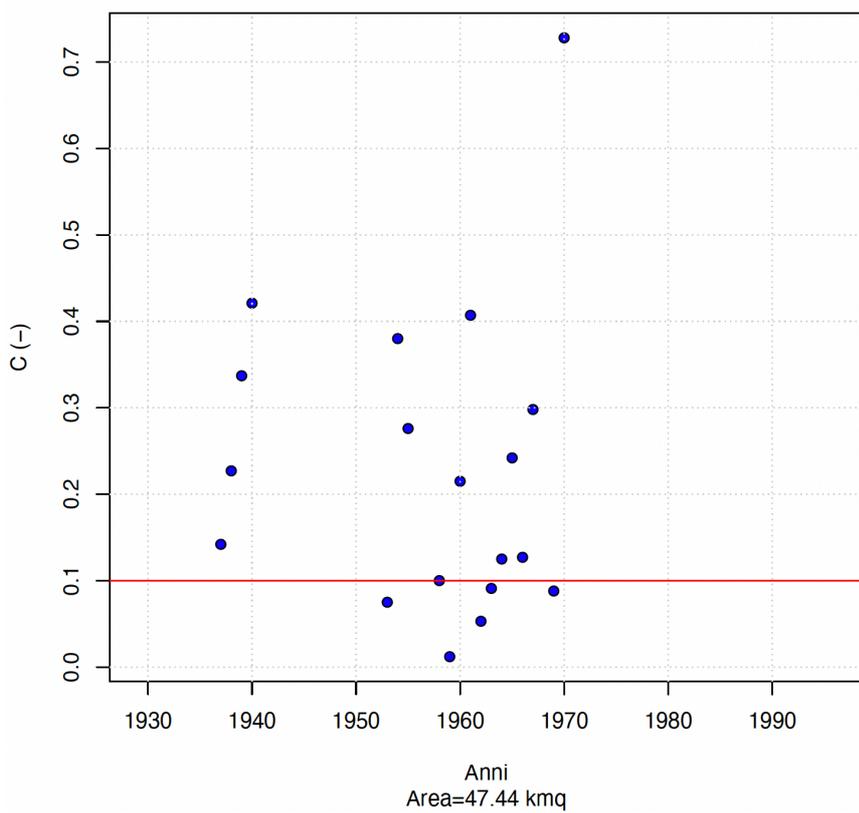
E051



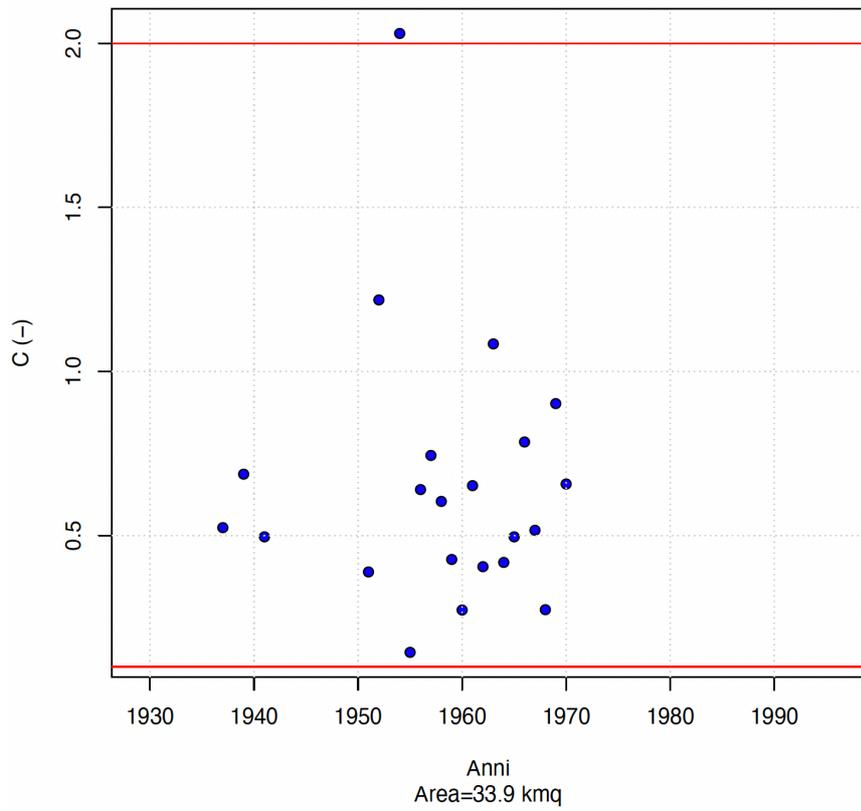
E059



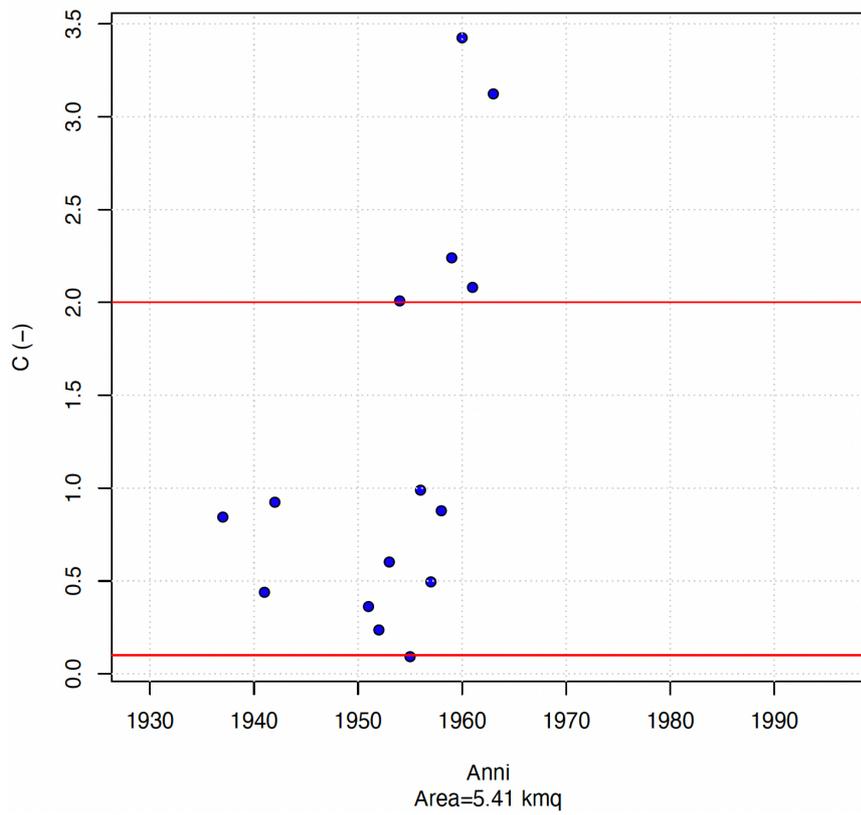
G005



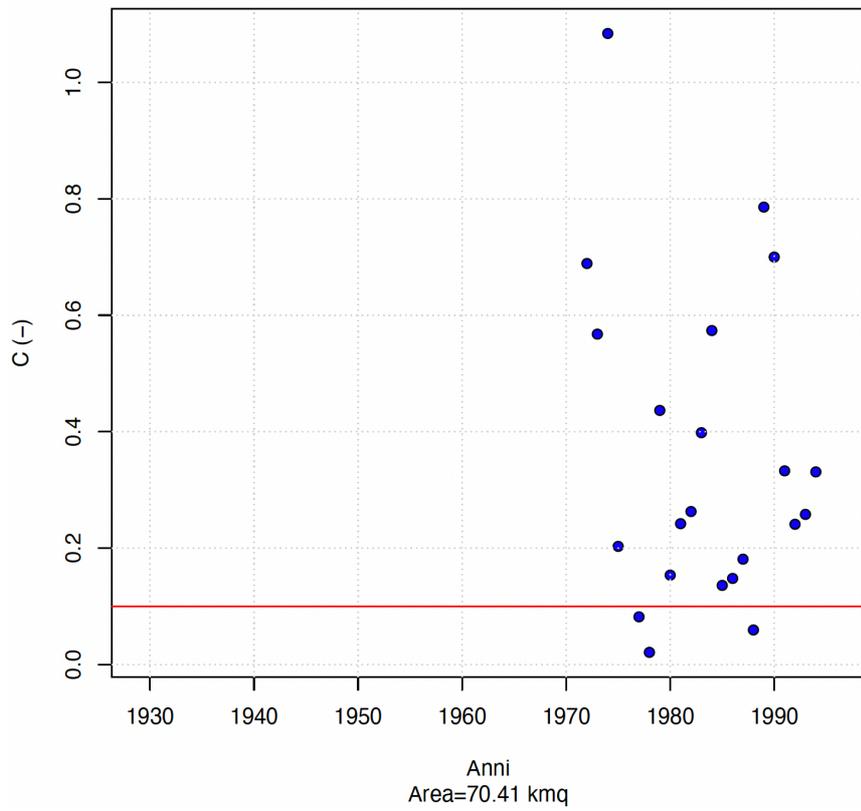
G022



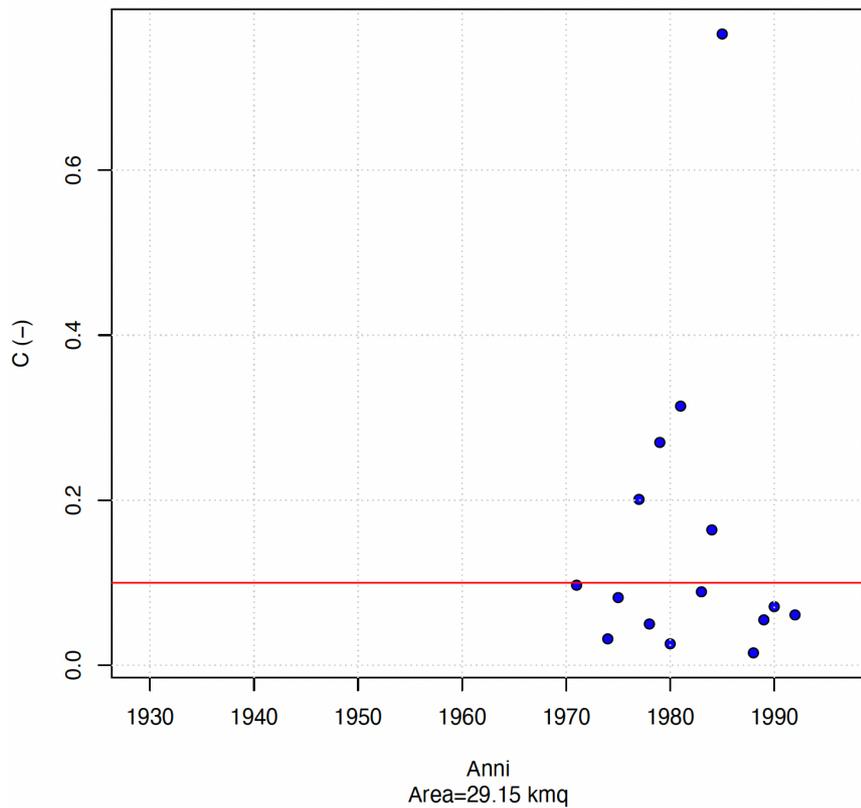
H027



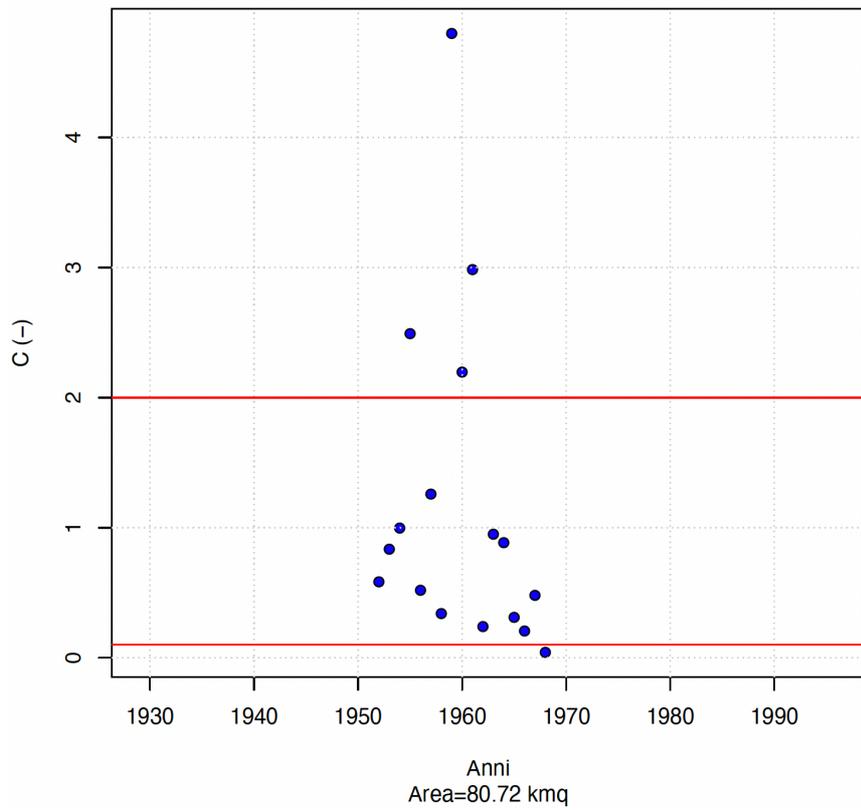
L004



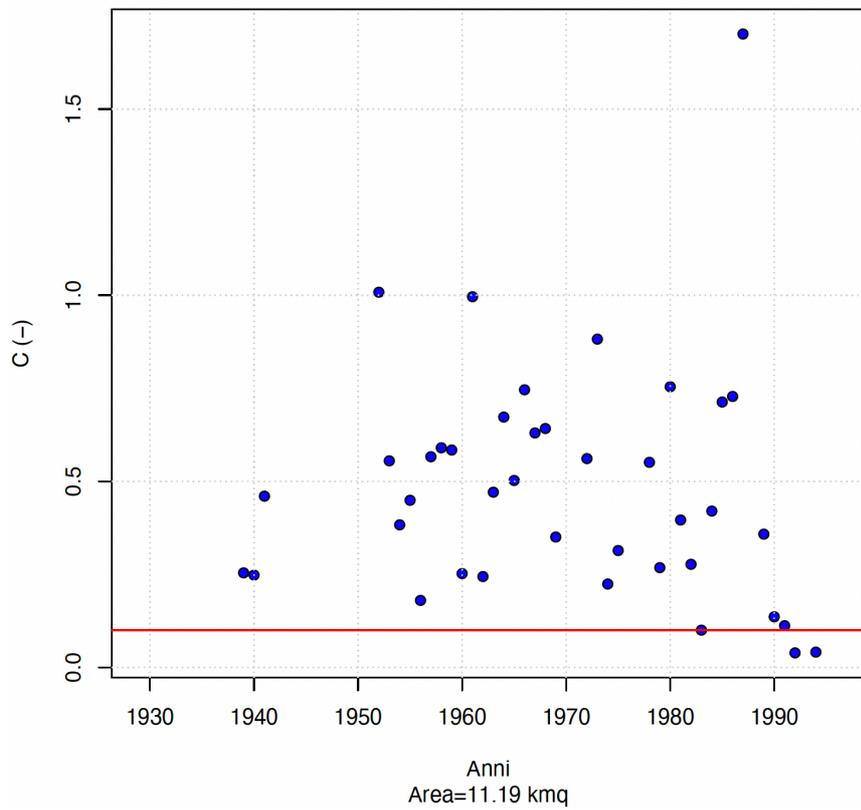
L006



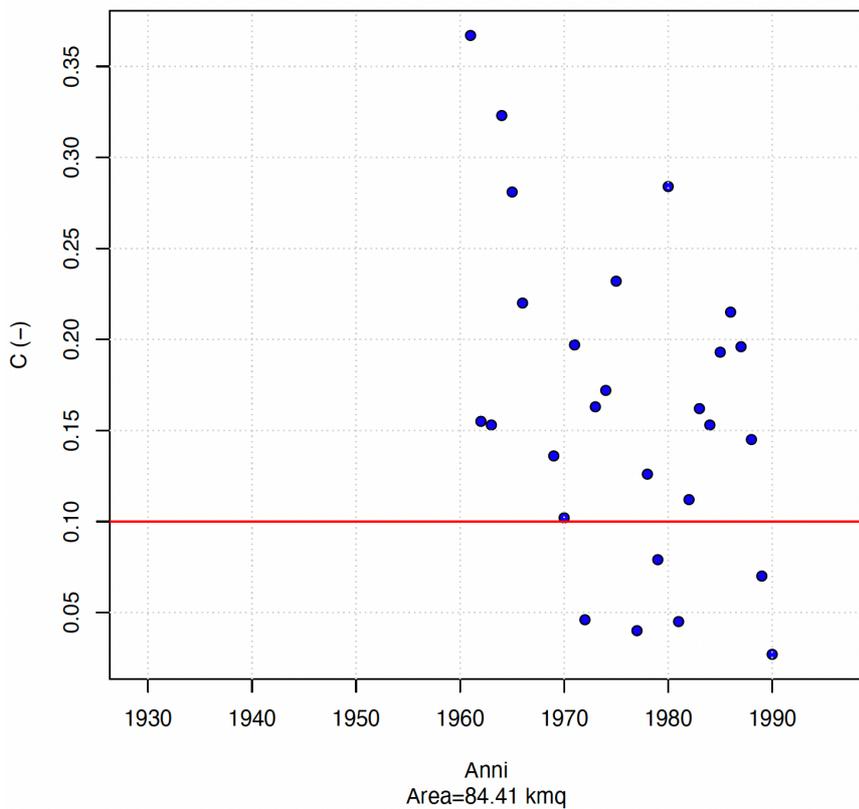
L014



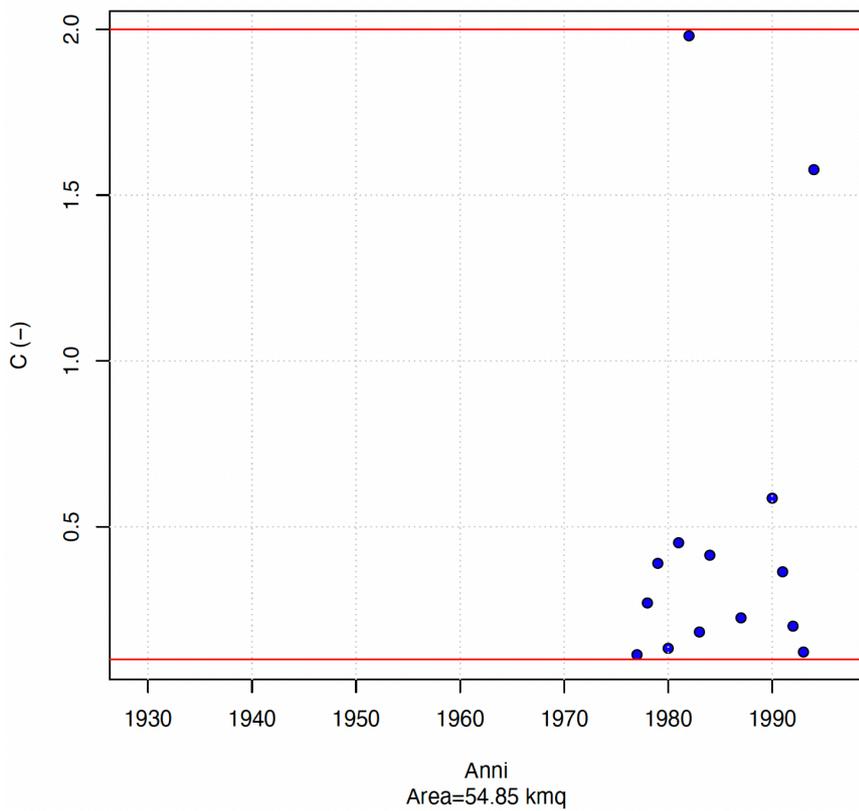
L015



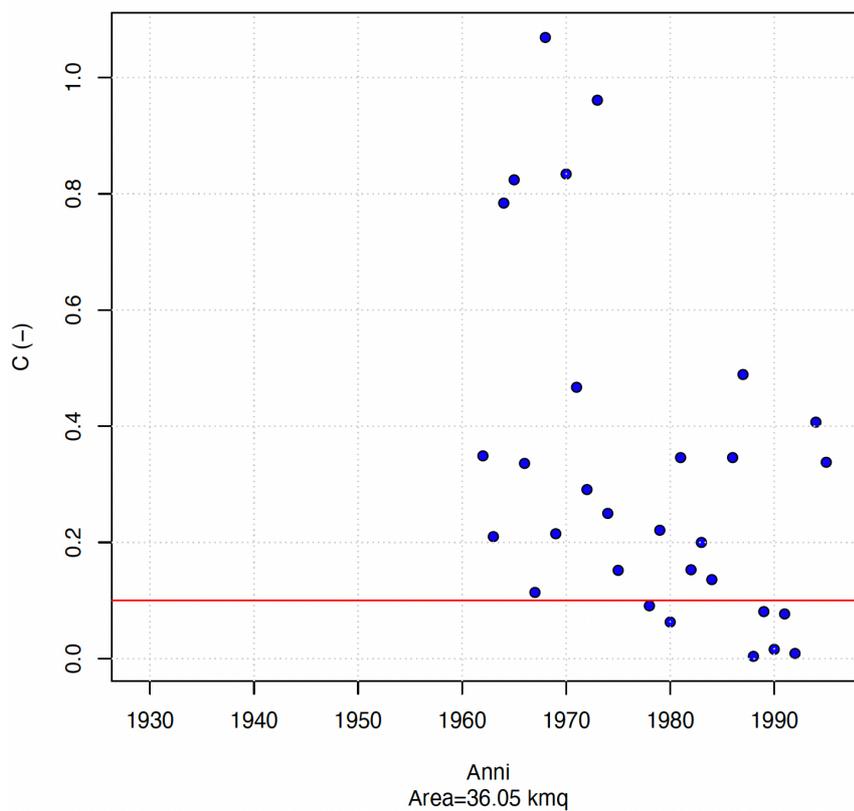
L016



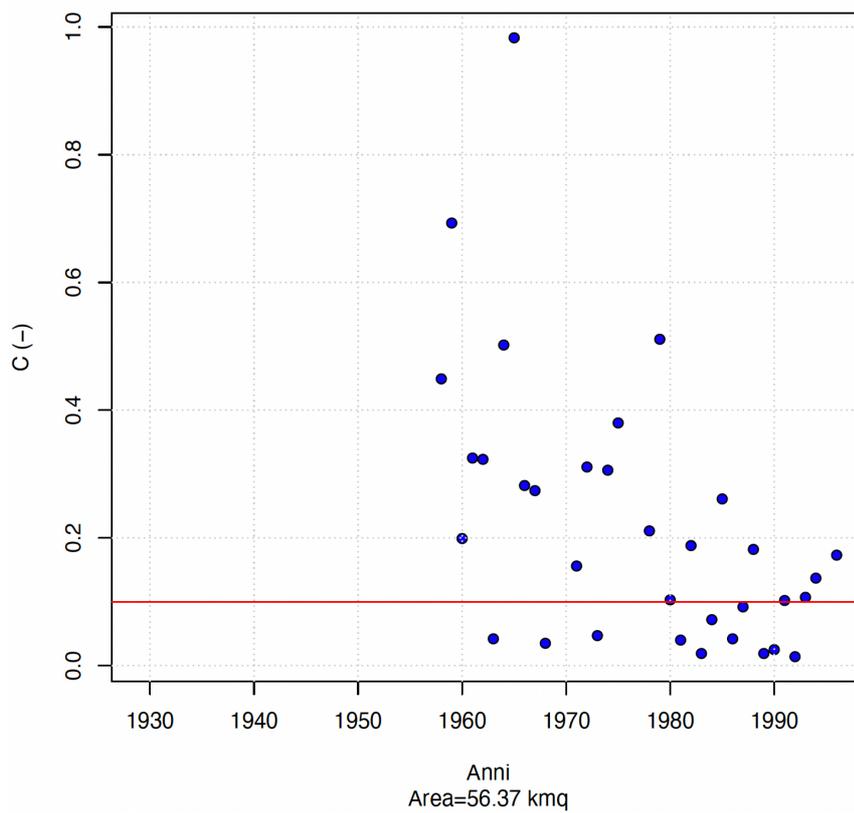
L017



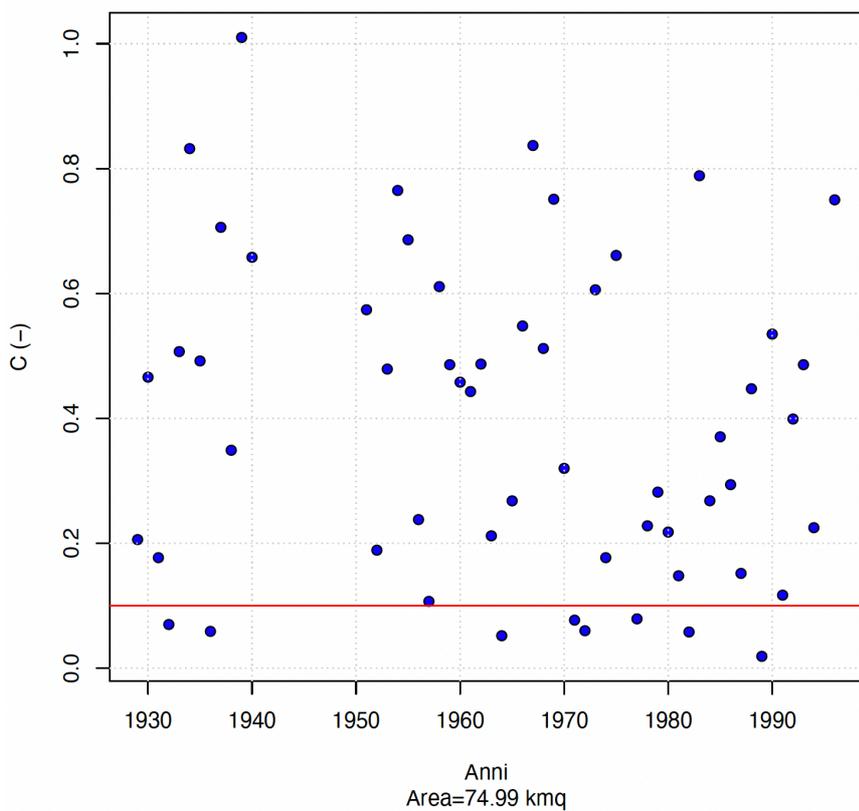
L018



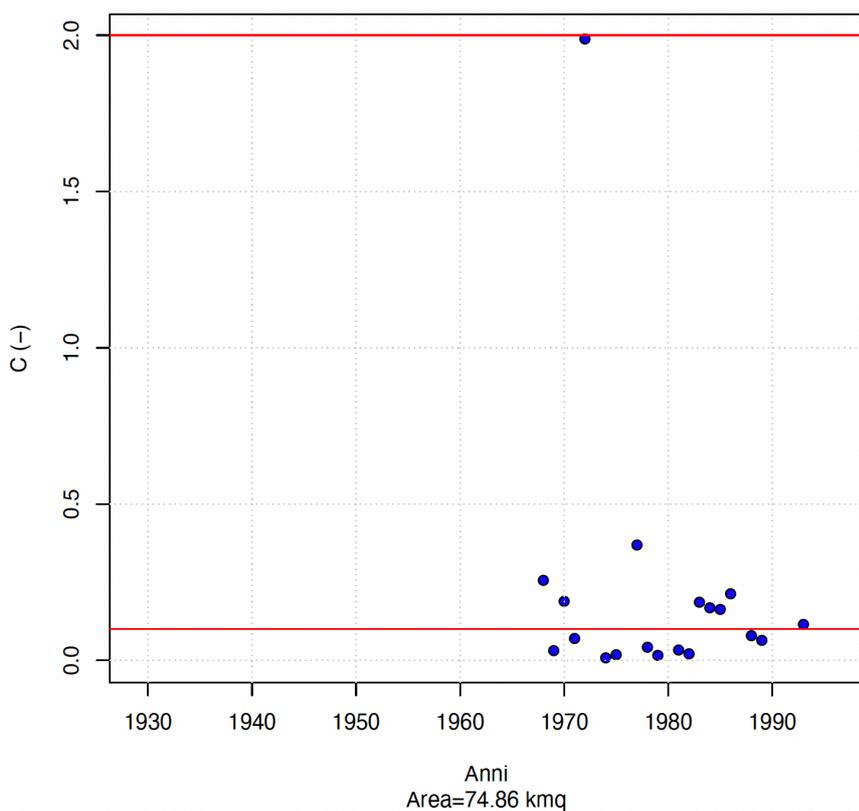
L033



L034



L039



L052

