

## **4.0 ASPETTI CLIMATICI**

### **4.1 Introduzione**

Il clima viene definito come l'effetto prodotto da più concause di tipo meteorologico che determinano lo stato medio del tempo in un determinato luogo o in una data regione.

Il clima è in primo luogo legato alla posizione geografica dell'area in questione e alla sua altitudine sul livello del mare. Anche le caratteristiche orografiche come la posizione rispetto alle catene montuose, la vicinanza ad accumuli di neve perenne, la presenza di vasti altopiani o di vallate profondamente incise o la presenza di bacini lacustri giocano un ruolo importante nel determinare le condizioni climatiche e la loro costanza o variabilità durante le diverse stagioni.

I fattori che influenzano in maniera diretta il clima sono innanzitutto la temperatura e l'umidità dell'aria, la radiazione solare e la nuvolosità, le precipitazioni, la pressione atmosferica e le sue variazioni, il regime dei venti.

A livello locale si possono instaurare delle condizioni climatiche anche nettamente diverse rispetto a quelle delle aree limitrofe. Tali condizioni vengono definite microclimi e risultano essere legate a particolari condizioni topografiche, geomorfologiche, a fattori di carattere idrologico e vegetazionale, nonché alla presenza di manufatti che possono aver indotto una modificazione locale dei processi di evapotraspirazione e di condensazione al suolo. Infine un certo ruolo sulla definizione del clima locale l'hanno anche le condizioni d'inquinamento atmosferico.

Nelle pagine seguenti viene riportata l'analisi della caratterizzazione climatica del territorio comunale, con particolare riferimento alle precipitazioni medie ed intense, in quanto esse sono correlate ad eventuali rischi di

esondazione dei corsi d'acqua.

Per la caratterizzazione del clima di una data regione o località il primo livello d'indagine consiste nell'attribuire alla zona in esame un clima fra quelli in cui è differenziato il territorio nazionale.

## **4.2 Condizioni climatiche**

I parametri utilizzati per definire il clima di una data località sono in prima istanza le temperature e le precipitazioni medie annue e mensili, anche se una certa importanza rivestono altri fattori quali la media trentennale dei giorni di pioggia, il regime dei venti regnanti e dominanti e i valori della radiazione solare.

Per studiare le condizioni climatiche in un ampio intorno del territorio comunale sono state prese in considerazione diverse stazioni meteorologiche.

Per quel che concerne le precipitazioni si sono prese in considerazione in primo luogo la stazione di Costa Serina, ubicata a 807 m s.l.m. (serie di dati disponibili 1955-1979), e in secondo le seguenti (serie di dati 1957-1986):

- Bergamo;
- Clusone;
- Gandino, 570 m s.l.m.;
- Gorno, 640 m s.l.m., sostituita in alcuni anni da Campello-Gorno, 710 m s.l.m.;
- Gromo, 709 m s.l.m.;
- Vall'Alta, 441 m s.l.m.;
- San Martino dé Calvi - Piazza Brembana (solo per le piogge intense, per il

# **COMUNE DI COSTA SERINA**

**Studio geologico preliminare alla pianificazione  
comunale redatto ai sensi della L.R. 24 Novembre 1997, n°41**

periodo 1941-1986);

- Carta delle precipitazioni medie annue pubblicata dal S.I.I. relativamente al periodo 1921-1950.

Per le temperature invece, dal momento che non esistono dati misurati in stazioni ubicate all'interno del territorio comunale o nelle immediate vicinanze, sono stati considerati i seguenti dati:

- I valori misurati, sempre per il periodo 1957-1986, presso le stazioni di Bergamo, 366 m s.l.m. e Clusone, 648 m s.l.m.;
- la carta delle temperature medie annue pubblicata dal S.I.I. relativamente al periodo 1926-1955.

### **3.2.1 Precipitazioni**

Le precipitazioni considerate successivamente tengono conto sia degli apporti liquidi (pioggia), sia di quelli solidi (neve e grandine).

Per quel che riguarda la pioggia, che è il tipo di precipitazione sensibilmente più frequente, viene di seguito considerata secondo tre differenti aspetti, ossia dal punto di vista della quantità (precipitazione mensili ed annuali medie), da quello della frequenza (numero medio mensile ed annuale dei giorni piovosi) e da quello dell'intensità media, solamente per la stazione di Costa Serina (rapporto fra quantità della precipitazione e numero di giorni piovosi corrispondenti).

Nel paragrafo relativo alle curve di possibilità climatica vengono inoltre prese in considerazione le piogge intense di breve durata misurate presso le stazioni di Piazza Brembana e Clusone.

Per meglio interpretare i dati riguardanti le precipitazioni si tenga presente

## **COMUNE DI COSTA SERINA**

**Studio geologico preliminare alla pianificazione  
comunale redatto ai sensi della L.R. 24 Novembre 1997, n°41**

che:

- una giornata viene considerata piovosa se vengono misurati almeno 0,1 mm di pioggia;
- 1 mm di pioggia equivale ad 1 litro di acqua per metro quadro di superficie;
- agli effetti della pioggia caduta 1 cm di neve equivale ad 1 mm di pioggia;
- le precipitazioni in mm successivamente esposte comprendono la neve convertita, come appena detto, in acqua.

Le serie di dati precedentemente elencate, allo scopo di dare un inquadramento climatico generale del territorio comunale, sono state elaborate per ottenere i seguenti parametri:

- precipitazioni medie mensili (regime pluviometrico) per le stazioni di: Bergamo, Clusone, Gandino, Gorno, Vall'Alta, Gromo e Costa Serina (Fig. 4.2.1.3);
- distribuzione mensile media dei giorni piovosi per le stesse stazioni di rilevamento (Fig. 4.2.1.4);
- medie annuali delle precipitazioni e dei giorni piovosi per le stesse stazioni (Fig. 4.2.1.5);
- intensità media della pioggia nella stazione di Costa Serina (Tab. 4.2.1.1 e Fig. 4.2.1.6).

Sulla base delle precipitazioni di massima intensità con diversa durata in ore registrate presso le stazioni di Piazza Brembana e Clusone (Tab. 4.2.2.1) è stata inoltre effettuata, nel paragrafo 4.2.4, la estrapolazione probabilistica con il metodo di Gumbel.

## COMUNE DI COSTA SERINA

Studio geologico preliminare alla pianificazione  
comunale redatto ai sensi della L.R. 24 Novembre 1997, n°41

Nella Fig. 4.2.1.3 si può notare come la distribuzione delle precipitazioni durante l'arco dell'anno (regime pluviometrico) sia simile per tutte le stazioni considerate.

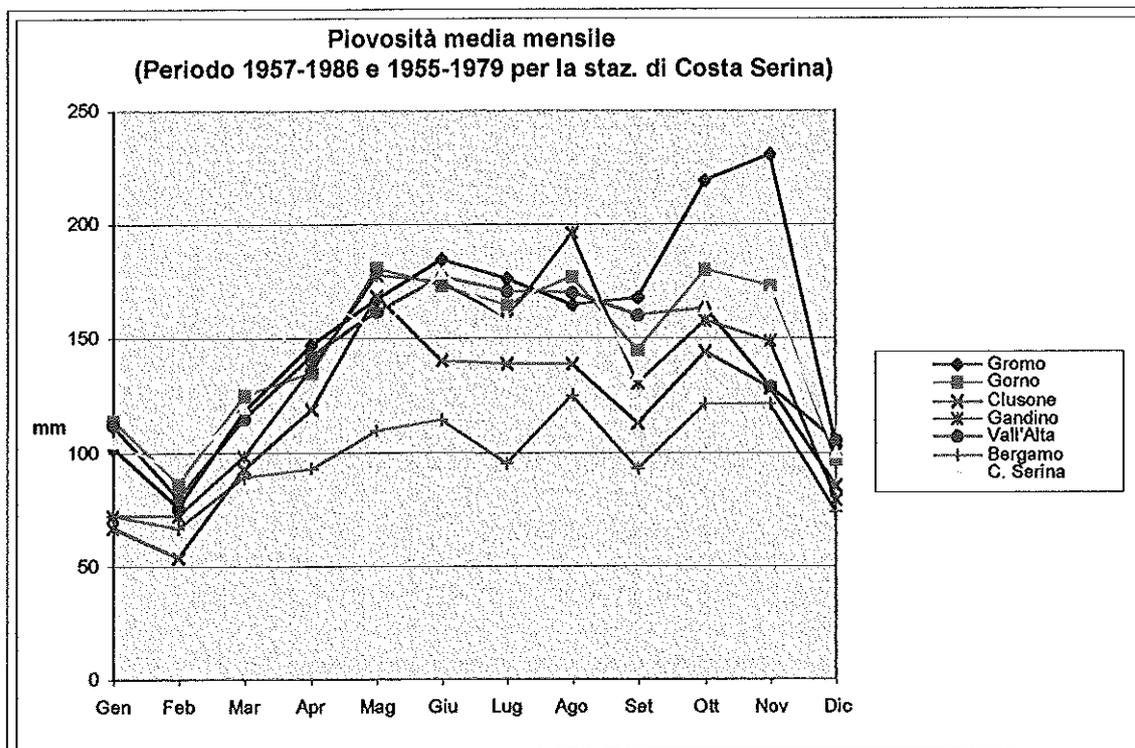


Fig. 4.2.1.3 - regime pluviometrico.

Si nota infatti per tutte le stazioni la presenza di un minimo assoluto in corrispondenza del mese di Febbraio, con precipitazioni comprese tra 50 e 100 mm/mese; nei successivi mesi primaverili le precipitazioni aumentano raggiungendo nel periodo maggio-novembre, il più piovoso dell'anno, valori compresi tra 100 e 200 mm/mese.

Da segnalare, all'interno di questo periodo, la presenza di due minimi relativi in corrispondenza dei mesi di Luglio e soprattutto Settembre, con valori compresi tra poco meno di 100 a 170 mm/mese.

Il periodo invernale dicembre-febbraio risulta quindi il più secco, con precipitazioni di 50-100 mm/mese, circa la metà di quelle del periodo maggio-novembre. In particolare i valori relativi a Costa Serina, conformi a questo

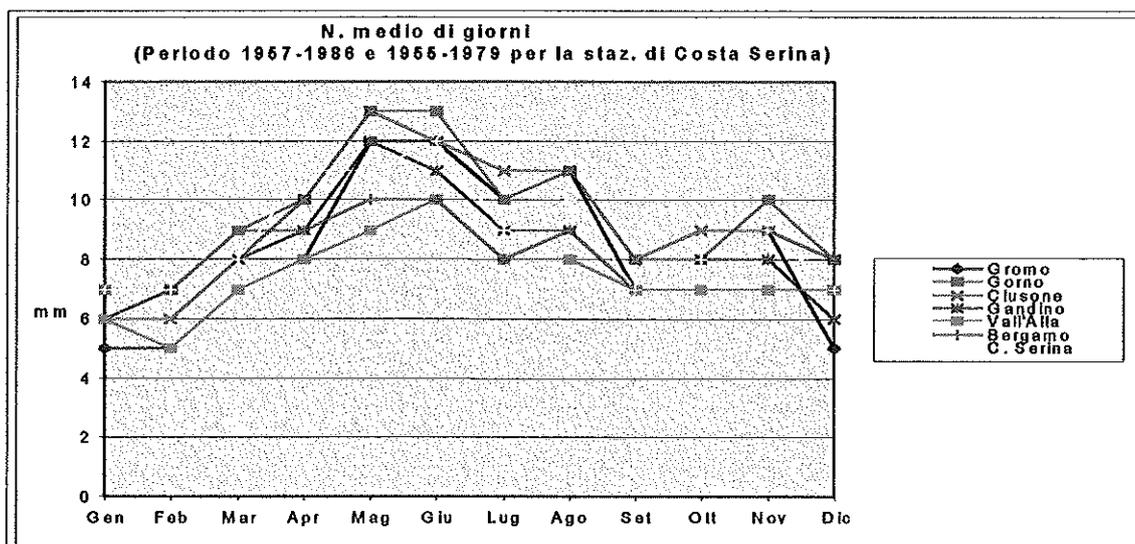
## COMUNE DI COSTA SERINA

Studio geologico preliminare alla pianificazione  
comunale redatto ai sensi della L.R. 24 Novembre 1997, n°41

andamento generale, individuano il periodo invernale dicembre-febbraio come il più secco dell'anno (valori medi di 99 mm/mese) per poi aumentare e raggiungere nel periodo più piovoso aprile-novembre valori compresi tra 153 e 187 mm/mese con il minimo relativo di settembre (134 mm/mese).

Tale regime pluviometrico risulta essere tipico di un clima prealpino con presenza di importanti influssi continentali.

Per quanto riguarda il numero mensile medio dei giorni piovosi, il cui andamento è riportato nella Fig. 4.2.1.4, si può notare come tenda a rispecchiare l'andamento della piovosità poc'anzi descritto, ossia presenti un minimo invernale, un massimo principale primaverile, un minimo a settembre ed un nuovo massimo in novembre.



- Fig. 4.2.1.4 -

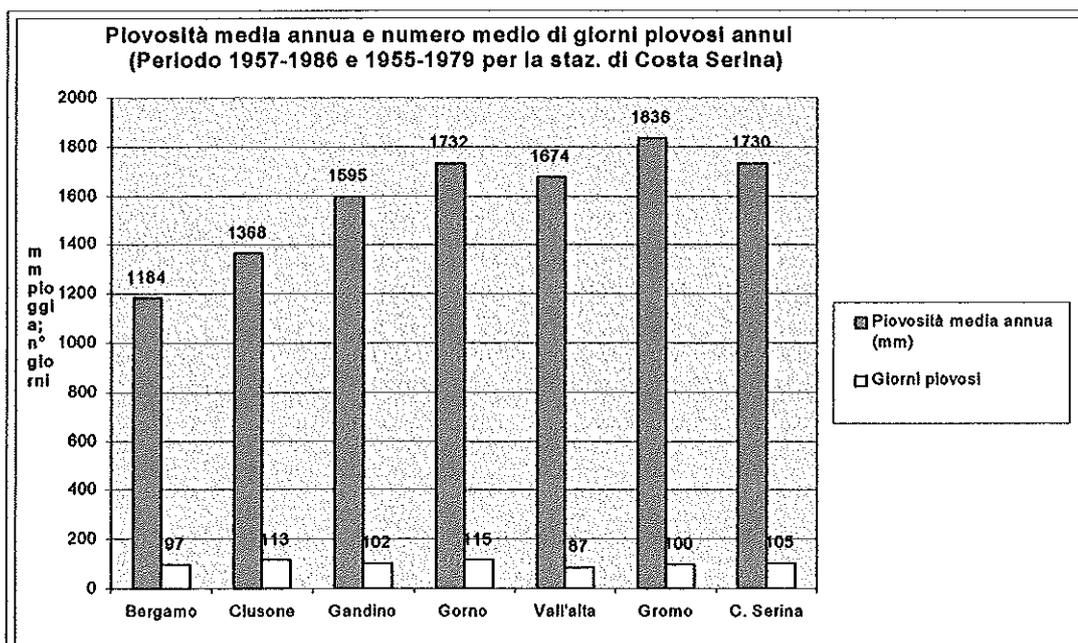
Il fatto comunque che il massimo primaverile sia decisamente più accentuato rispetto a quello autunnale, comportamento che non trova corrispondenza nel grafico del regime pluviometrico, sta a significare come mediamente le precipitazioni autunnali siano di intensità superiore a quelle primaverili: in autunno ed in primavera infatti abbiamo grossomodo la stessa entità delle precipitazioni, ma in autunno il numero dei giorni in cui queste si

# COMUNE DI COSTA SERINA

Studio geologico preliminare alla pianificazione  
comunale redatto ai sensi della L.R. 24 Novembre 1997, n°41

verificano è ridotto di circa il 30 % rispetto alla primavera. Dalla Fig. 4.2.1.5 si possono ricavare i dati relativi all'entità media annua delle precipitazioni e dei giorni piovosi per le varie stazioni considerate. In particolare per quel che concerne la stazione di Costa Serina si osserva che la piovosità media annua è di 1730 m, mentre il numero medio di giorni piovosi è pari a 105.

Dal raffronto della Fig. 4.2.1.1 (carta delle isoiete 1921-1950) con la Fig. 4.2.1.3 che riporta la piovosità media annua relativa al trentennio 1955-1976, si può desumere una tendenza all'aumento delle precipitazioni medie annue. Dalla Fig. 4.2.1.1 si può infatti notare come l'entità media annua delle precipitazioni all'interno del territorio comunale sia compresa fra 1500 e 1600 mm, mentre dati più recenti, misurati nella staz. di Costa Serina, forniscono 1730 mm di pioggia all'anno.



- Fig. 4.2.1.5 -

Facendo il rapporto fra la quantità di pioggia caduta al suolo espressa in mm ed il numero di giorni in cui tale quantità è caduta otteniamo un valore espressione dell'intensità della pioggia. Tale raffronto è stato eseguito solamente per la stazione di Costa Serina. Nella Tab. 4.2.2.1 sono riportati i dati necessari a questa analisi ed i risultati dell'analisi stessa, mentre nella Fig.

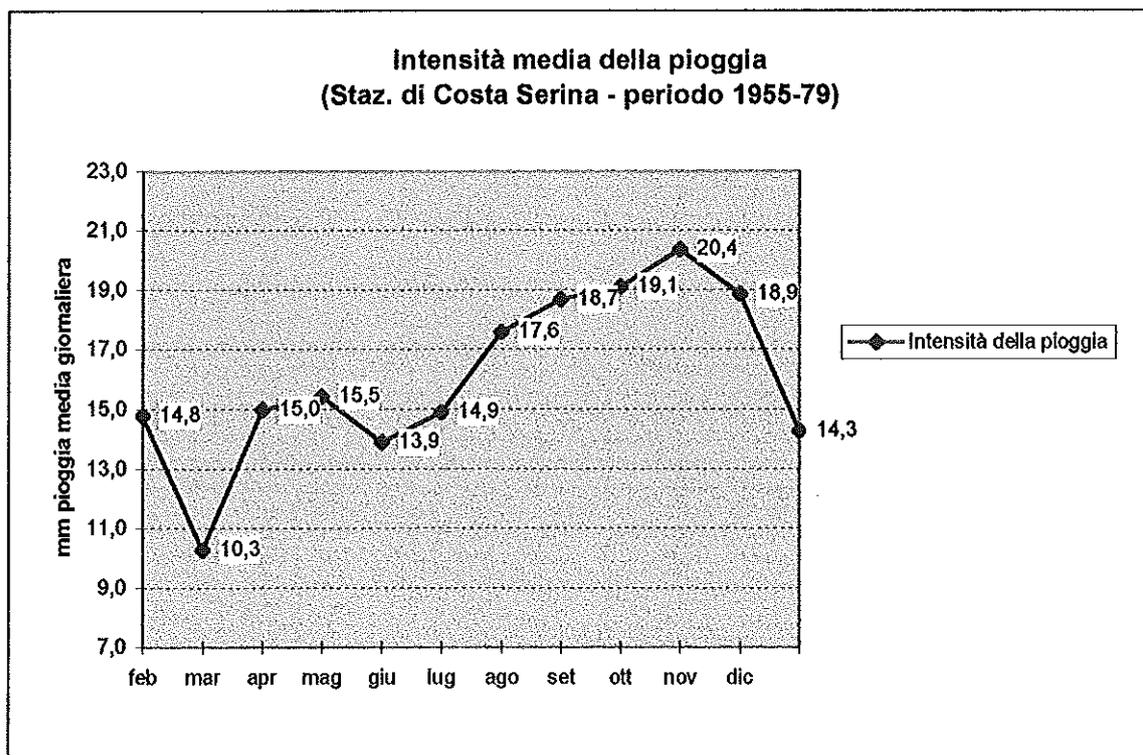
## COMUNE DI COSTA SERINA

Studio geologico preliminare alla pianificazione  
comunale redatto ai sensi della L.R. 24 Novembre 1997, n°41

4.2.1.6 si può osservare l'andamento annuale medio dell'intensità delle precipitazioni, con l'evidente massimo nella stagione autunnale, con una punta superiore a 20 mm di pioggia per giorno piovoso, nel mese di novembre.

- Tabella 4.2.2.1: Valori pluviometrici medi annui per la stazione di Costa Serina

	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Piovosità media	104	92	120	170	153	179	159	187	134	163	170	100
N. medio giorni piovosi	7	7	8	11	11	12	9	10	7	8	9	7
Intensità media della pioggia	14,8	10,3	15,0	15,5	13,9	14,9	17,6	18,7	19,1	20,4	18,9	14,3



- Fig. 4.2.1.6 -

È importante sottolineare il fatto che ci si sta riferendo all'intensità media delle precipitazioni, e non a quella effettiva, per la cui determinazione è necessario, più che il n. di giorni piovosi, la durata effettiva delle precipitazioni; questo argomento verrà trattato nel paragrafo 4.2.4, in cui sulla base delle precipitazioni di massima intensità con diversa durata in ore registrate presso le

## **COMUNE DI COSTA SERINA**

**Studio geologico preliminare alla pianificazione  
comunale redatto ai sensi della L.R. 24 Novembre 1997, n°41**

stazioni di Piazza Brembana e Clusone verrà effettuata l'estrapolazione probabilistica con il metodo di Gumbel.

### **4.2.2 Temperatura**

La temperatura dell'aria dipende essenzialmente dalla quantità di radiazione solare ricevuta e dai movimenti della terra e dell'atmosfera.

I dati utilizzati per lo studio della temperatura sono quelli pubblicati dal Servizio Idrografico Italiano e, per la precisione, sono:

- carta delle temperature medie annue dell'aria relativa al periodo 1926-1955 (Fig. 4.2.2.1);
- temperature medie mensili relative alle stazioni di Bergamo e Clusone e riferite al trentennio 1957-1986 (Fig. 4.2.2.2);
- temperature medie annue relative alle stesse stazioni e al medesimo periodo (Fig. 4.2.2.3).

Come si può notare dalla Fig. 4.2.2.1 (ubicazione delle stazioni meteorologiche), e come già precedentemente accennato, le due stazioni considerate sono abbastanza distanti dal territorio di Costa Serina e quindi più che su questi dati, che danno una visione termica di un ampio contorno dell'area in oggetto, sarà da tenere in considerazione la carta delle temperature medie annue, seppur essa sia relativa al trentennio 1926-1955.

Dall'analisi dei dati pubblicati dal S.I.I. si ricava che la temperatura annua media per le stazioni considerate è la seguente:

- Bergamo: 13.6°C;
- Clusone: 11.0°C.

## **COMUNE DI COSTA SERINA**

**Studio geologico preliminare alla pianificazione  
comunale redatto ai sensi della L.R. 24 Novembre 1997, n°41**

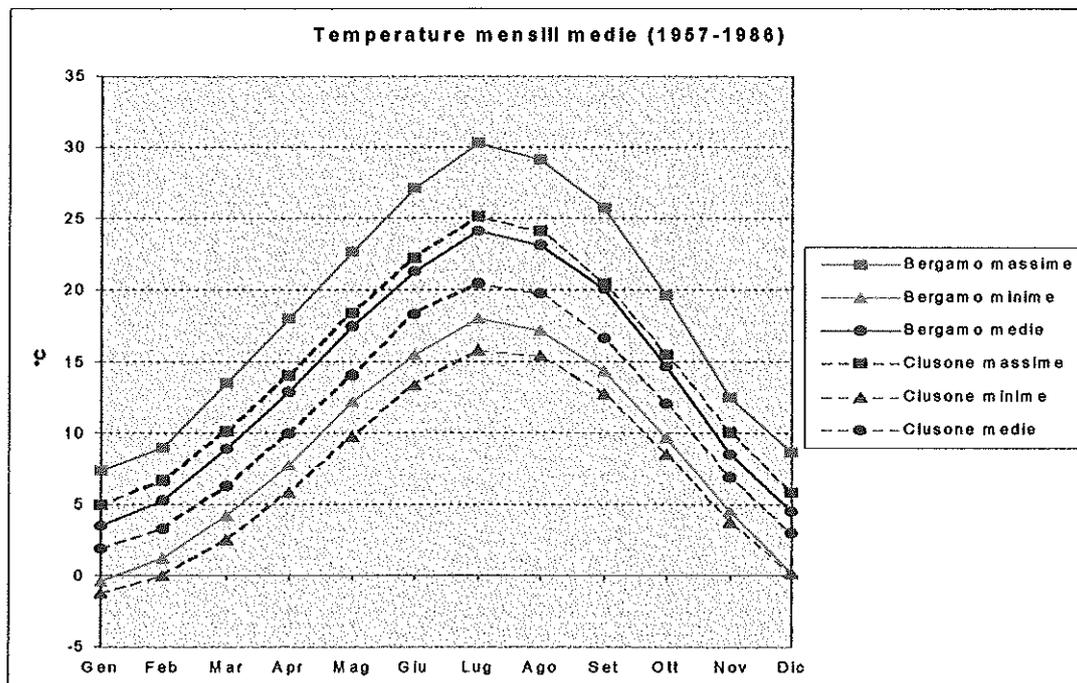
Dal confronto di questi dati con la carta delle temperature annue medie (Fig. 6.3.8) si nota come non vi sia una perfetta concordanza di dati; infatti si nota come a Bergamo la temperatura annua media sia passata da 12.9°C (1926-1955) a 13.6°C (1957-1986) e a Clusone la variazione sia stata da 10.6°C a 11.0°C. Estrapolando il dato relativo al territorio comunale di Costa Serina possiamo ragionevolmente affermare che la sua temperatura media annua relativa al trentennio 1957-1986 avrà un valore attorno a 11.5°C.

Dal punto di vista del regime termico, inoltre, è ragionevole pensare che, date la relativa vicinanza e la simile altitudine, quello di Costa Serina non sia molto dissimile da quello di Clusone; le considerazioni relative a quest'ultimo quindi possono essere trasposte, pur con le dovute approssimazioni, al territorio comunale in oggetto.

Dall'esame del Fig. 4.2.2.2 si può notare come per entrambe le stazioni considerate il regime termico presenti ovviamente un massimo estivo ed un minimo invernale. La cosa interessante è che questi due estremi non cadono nei mesi in cui si verificano i rispettivi solstizi (giugno e dicembre), ma siano ritardati rispetto ai solstizi stessi di un mese; abbiamo infatti il massimo in luglio e il minimo in gennaio. Ciò è dovuto al fatto che la superficie terrestre continua ad accumulare (o perdere) calore anche quando l'altezza del sole comincia a diminuire (o aumentare) immediatamente dopo il solstizio d'estate (o d'inverno). Regimi termici come quelli visibili nel Fig. 4.2.2.2 sono tipici di zone a clima mesotermico umido (Köppen).

# COMUNE DI COSTA SERINA

Studio geologico preliminare alla pianificazione  
comunale redatto ai sensi della L.R. 24 Novembre 1997, n°41



- Fig. 4.2.2.2 -

Analizzando l'escursione termica annua si ottengono i seguenti dati:

- Bergamo: 20.6°C (temperatura media di gennaio=3.5°C; temperatura media luglio=24.1°C);
- Clusone: 19.6°C (temperatura media di gennaio=1.9°C; temperatura media luglio=20.5°C).

Il gradiente verticale assume perciò valori elevati prossimi a 0.92°C/hm. Le escursioni termiche annue assumono valori che seguono la regola secondo cui i loro valori tendono a diminuire passando dalle zone di pianura a quelle più elevate. Da tali dati si può affermare che il clima oltre ad essere mesotermico umido (tipo C di Köppen) risente di una certa continentalità evidenziata dalla abbastanza elevata escursione termica annua. Per essere più precisi i parametri termometrici misurati fanno ricadere la zona in oggetto in un tipo di clima definito da Köppen come temperato subcontinentale ovvero con le seguenti caratteristiche:

## **COMUNE DI COSTA SERINA**

**Studio geologico preliminare alla pianificazione  
comunale redatto ai sensi della L.R. 24 Novembre 1997, n°41**

- media annua della temperatura compresa fra 10 e 14.4°C;
- media della temperatura del mese più freddo compresa fra -1 e 3.9°C;
- da 1 a 3 mesi con temperatura media  $\geq 20^\circ\text{C}$ ;
- escursione termica annua superiore a 19°C.

Sempre dall'analisi del medesimo grafico si evince che il regime termico di Bergamo è del tipo 2-3, ossia con febbraio più caldo di dicembre e marzo più caldo di novembre, mentre quello di Clusone è di tipo 0 pur con la temperatura di febbraio quasi uguale a quella di dicembre. Si nota infine come l'escursione termica diurna risulti leggermente più ampia in estate rispetto a quanto non avvenga invece in inverno. I valori di tale escursione variano fra 6 e 9°C per Clusone e fra 8 e 12°C per Bergamo.

Nella Fig. 6.3.8 è riportato l'andamento delle temperature medie nel trentennio 1957-1986 da cui si desume che, a parte un periodo particolarmente caldo negli anni che vanno dal 1974 al 1977, le temperature medie sia di Bergamo che di Clusone si sono mantenute grossomodo attorno ai suddetti valori medi calcolati per il trentennio considerato.

Unendo le considerazioni pluviometriche a quelle termometriche si ottiene, per il territorio comunale di Costa Serina, un tipo di clima, secondo Köppen, definito **Cfb** e assimilabile al già citato clima temperato subcontinentale, dove :

- **C** indica un clima mesotermico umido (come già detto);
- **f** indica l'assenza di un vero e proprio periodo arido;
- **b** indica una temperatura media del mese più caldo inferiore a 22°C, ma con almeno quattro mesi con temperatura media superiore a 10°C.

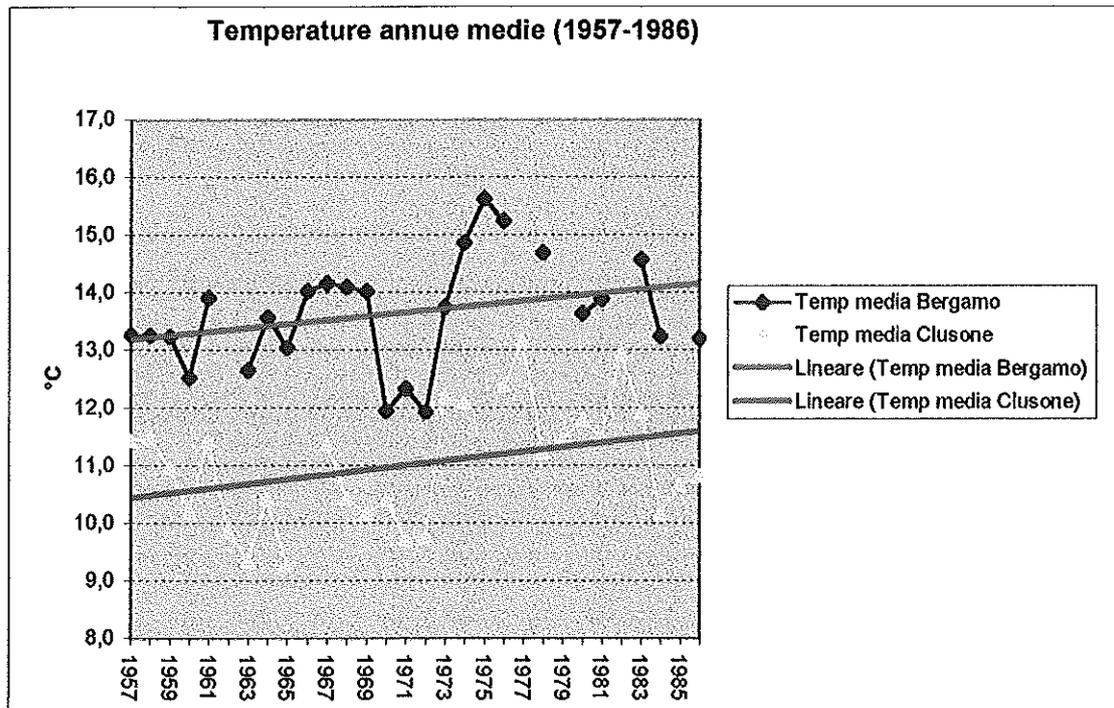
Per quanto riguarda Bergamo il clima è invece di tipo **Cfa**, assimilabile a

## COMUNE DI COSTA SERINA

Studio geologico preliminare alla pianificazione  
comunale redatto ai sensi della L.R. 24 Novembre 1997, n°41

un clima di transizione fra il temperato subcontinentale e il temperato sublitoraneo, dove:

- a indica una temperatura media del mese più caldo superiore a 22°C.



- Fig. 4.2.2.3 -

### 4.2.3 Evapotraspirazione

L'evapotraspirazione è rappresentata numericamente dalla quantità d'acqua persa in seguito ai fenomeni di evaporazione dal terreno e di traspirazione da parte dei vegetali. Essa dipende da numerosi fattori: aumenta con il crescere del deficit di umidità dell'aria (differenza fra la quantità di vapore che conterrebbe l'aria se fosse satura e quella effettivamente presente), con la quota (è perciò inversamente proporzionale alla pressione), con la temperatura, con l'insolazione e con la velocità e turbolenza del vento.

## **COMUNE DI COSTA SERINA**

**Studio geologico preliminare alla pianificazione  
comunale redatto ai sensi della L.R. 24 Novembre 1997, n°41**

Si è soliti distinguere fra un'evapotraspirazione potenziale ed una reale. La prima esprime numericamente la quantità massima di acqua che potrebbe essere eliminata dal suolo, la seconda corrisponde alla quantità d'acqua realmente perduta. Nei mesi in cui il valore delle precipitazioni è maggiore o uguale all'evapotraspirazione potenziale, l'evapotraspirazione reale uguaglia quella potenziale e la quantità d'acqua in eccesso, la cosiddetta eccedenza idrica, in parte va a ricostituire la riserva idrica del suolo e in parte alimenta lo scorrimento superficiale. Al contrario, se le precipitazioni sono inferiori rispetto all'evapotraspirazione potenziale, si ha un deficit idrico che comporta una diminuzione della riserva idrica del suolo.

I metodi per il calcolo dell'evapotraspirazione potenziale e reale elaborati nel corso degli anni sono numerosi e per una stima precisa bisognerebbe tener conto della capacità di ritenzione dei suoli e di conseguenza il calcolo andrebbe effettuato per ogni suolo presente sul territorio comunale di Costa Serina. Alla luce del fatto che i dati termometrici disponibili per l'utilizzazione in tali elaborazioni non sono riferiti esattamente alla zona in esame, ma ad una stazione meteorologica posta a circa 17 km di distanza, ci si è limitati al calcolo dell'evapotraspirazione potenziale utilizzando la formula di Thornthwaite:

$$E_p = 16K(10T/i_c)^a$$

dove:

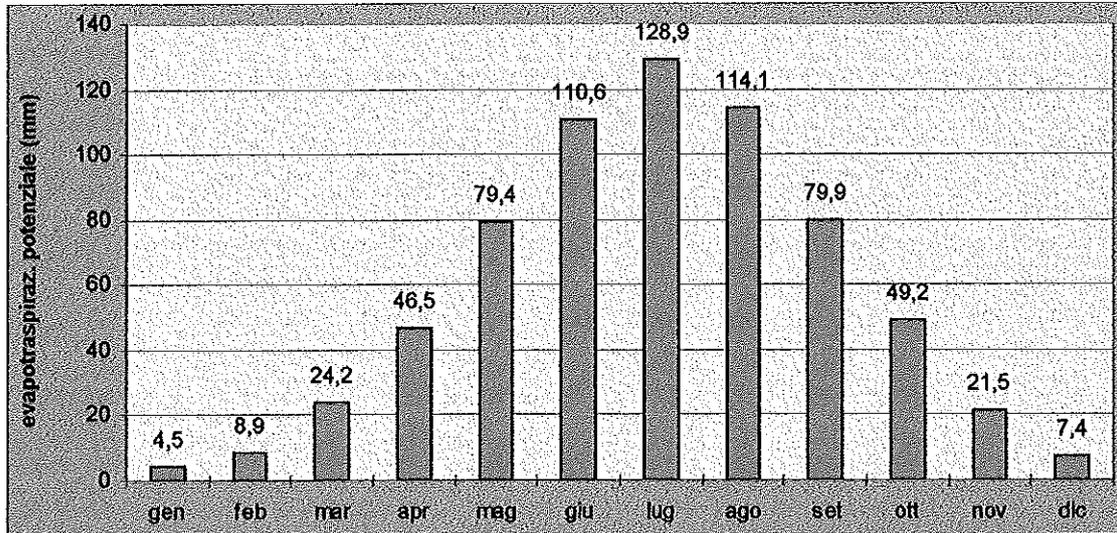
- $E_p$  = evapotraspirazione potenziale media mensile in mm;
- $K$  = coefficiente correttivo che tiene conto della latitudine e dell'insolazione;
- $T$  = temperatura media mensile dell'aria in °C;
- $i_c$  = indice annuo di calore dato dalla somma dei singoli indici mensili;
- $a$  = fattore legato a  $i_c$ .

I risultati di tale elaborazione sono riportati nel Fig. 4.2.3.1, mentre nel Fig. 4.2.3.2 si riporta il bilancio idrico medio mensile. L'evapotraspirazione potenziale

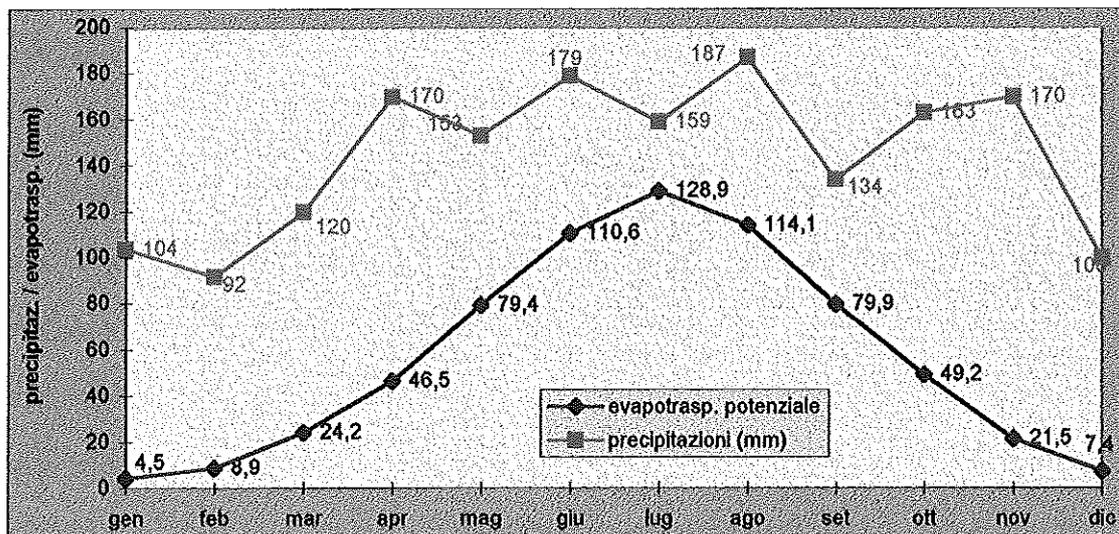
## COMUNE DI COSTA SERINA

Studio geologico preliminare alla pianificazione  
comunale redatto ai sensi della L.R. 24 Novembre 1997, n°41

annua è stata perciò stimata in 675,1 mm.



- Fig. 4.2.3.1: Evapotraspirazione media mensile potenziale relativa alla stazione meteorologica di Clusone per il periodo 1957-1986 -



- Fig. 4.2.3.2: Bilancio idrico medio mensile ottenuto confrontando l'evapotraspirazione media mensile potenziale relativa alla stazione meteorologica di Clusone per il periodo 1957-1986, con le precipitazioni medie mensili misurate a Costa Serina nel periodo 1955-1979 -

Da quest'ultimo grafico si nota come in media per tutto il periodo dell'anno l'evapotraspirazione potenziale sia numericamente inferiore all'entità delle precipitazioni; in questo caso quindi il valore potenziale e quello reale

## COMUNE DI COSTA SERINA

Studio geologico preliminare alla pianificazione  
comunale redatto ai sensi della L.R. 24 Novembre 1997, n°41

coincidono. Durante tutto l'anno perciò sussiste un regime di surplus idrico con alimentazione delle falda e dello scorrimento superficiale; questo surplus idrico è minore nei mesi estivi (in media + 57 mm/mese), mentre è maggiore nel rimanente arco dell'anno (+ 80+110 mm/mese).

Per una stima dell'evapotraspirazione reale si è utilizzata la formula di Turc:

$$E_r = P / [0.9 + (P^2 / L^2)]^{0.5}$$

dove:

- $E_r$  = evapotraspirazione reale annua in mm;
- $P$  = altezza media annua delle precipitazioni in mm;
- $L = 300 + 25T + 0.05T^3$  con  $T$  = temperatura media annua in °C.

In realtà invece di  $T$  si utilizza di norma la grandezza  $T_p$  calcolata come segue:

$$T_p = \frac{\sum P_i T_i}{\sum P_i}$$

dove:

- $T_i$  = temperatura media di ciascun mese;
- $P_i$  = precipitazione media di ciascun mese.

I risultati dell'applicazione della formula di Turc sono riportati nella Tab. 4.2.3.1. Si noti come ci sia una differenza di appena in 5% tra i valori ottenuti con questo metodo e quelli ottenuti con il metodo di Thornthwaite.

Stazione	P (mm)	$T_p$	L	E (mm)	E/P%
Ciussone	1368	12,7	715	641	46,83
Bergamo	1184	14,0	787	720	60,83

- Tab. 4.2.3.1: Dati utilizzati per il calcolo dell'evapotraspirazione secondo Turc e risultati ottenuti -

Va ricordato infine che i valori dell'evapotraspirazione calcolata siano da intendersi come orientativi in quanto alcuni fattori, come la copertura e l'uso del suolo, nonché la capacità di ritenzione idrica propria di ogni differente suolo, possono apportare significative variazioni al fenomeno.

#### **4.2.4 Curve di possibilità climatica**

Lo studio delle piogge di breve durata e forte intensità consente di giungere alla definizione delle curve di possibilità climatica da usarsi come base per il dimensionamento delle opere idrauliche di collettamento delle acque meteoriche, nonché per la stima delle portate di piena di un corso d'acqua.

La metodologia di elaborazione dei dati relativi alle precipitazioni intense permette, in pratica, di definire, partendo dalle osservazioni registrate, un'espressione algebrica che rappresenti, per differenti durate dell'evento meteorico, il massimo valore delle precipitazioni che viene superato mediamente una volta ogni T anni. In genere si adotta un'espressione monomia del tipo:

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

dove:

- $h$  è altezza della pioggia espressa in mm;
- $t$  è la corrispondente durata in ore;
- $a$  ed  $n$  sono due coefficienti che caratterizzano la curva e che corrispondono rispettivamente all'ordinata in corrispondenza di  $t=1$  e al coefficiente angolare della retta.

## COMUNE DI COSTA SERINA

Studio geologico preliminare alla pianificazione  
comunale redatto ai sensi della L.R. 24 Novembre 1997, n°41

Dal momento che presso la stazione di Costa Serina non sono state misurate le precipitazioni intense, sono state considerate le seguenti due serie di dati, relative a stazioni ubicate rispettivamente 17 km a NE ad una quota di 648 m s.l.m. e 15 km a N, a quota 536 m s.l.m.:

- Stazione di Clusone, periodo 1951-1986;
- Stazione di Piazza Brembana, periodo 1941-1986.

Le piogge intense sono state misurate in entrambe le stazioni per le durate di 0.25, 0.5, 1, 3, 6, 12 e 24 ore, e sono riportati nelle Tabelle 4.2.4.1 e 4.2.4.2.

Per ogni valore di durata si ordinano secondo una successione crescente le corrispondenti intensità di pioggia, senza tener conto della loro successione cronologica e ad ogni valore viene quindi associata la corrispondente frequenza cumulata  $f$  (Tabella 4.2.4.3):

$$f = i/(N+1)$$

con:

- $i$  = numero d'ordine dell'evento per la corrispondente durata;
- $N$  = numero di eventi presi in considerazione per la particolare durata.

Anno	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
1951	19	34	45	61	106
1952	17	27	56	75	101
1953	45	71	88	107	130
1954	21	30	42	68	93
1955	41	59	59	59	67
1956	24	28	34	46	74

# COMUNE DI COSTA SERINA

Studio geologico preliminare alla pianificazione  
comunale redatto ai sensi della L.R. 24 Novembre 1997, n°41

1957	19	29	45	55	84
1958	31	41	46	63	84
1959	31	35	35	52	90
1960	19	37	50	74	106
1961	33	38	57	63	71
1962	23	25	30	43	61
1963	31	40	54	69	76
1964	27	30	55	82	109
1965	24	44	47	49	64
1966	31	42	53	63	81
1967	18	30	35	59	106
1968	15	22	33	38	58
1969					
1970	33	33	45	78	109
1971	24	35	51	66	78
1972	28	30	41	52	75
1973	33	44	57	61	96
1974	17	31	37	44	59
1975	25	44	41	42	58
1976	21	30	53	80	114
1977	20	30	43	81	111
1978	22	40	52	94	97
1979	22	50	90	127	170
1980	17	34	53	65	117
1981	32	64	73	82	108
1982	29	37	41	56	83
1983					
1984	22	26	29	42	67
1985	29	49	53	60	70
1986	26	21	32	40	41

- *Tabella 4.2.4.1: Entità delle piogge intense (mm) di breve durata registrate dal S.I.I. nel periodo 1951-1986 per la stazione meteorologica di Clusone –*

# COMUNE DI COSTA SERINA

Studio geologico preliminare alla pianificazione  
comunale redatto ai sensi della L.R. 24 Novembre 1997, n°41

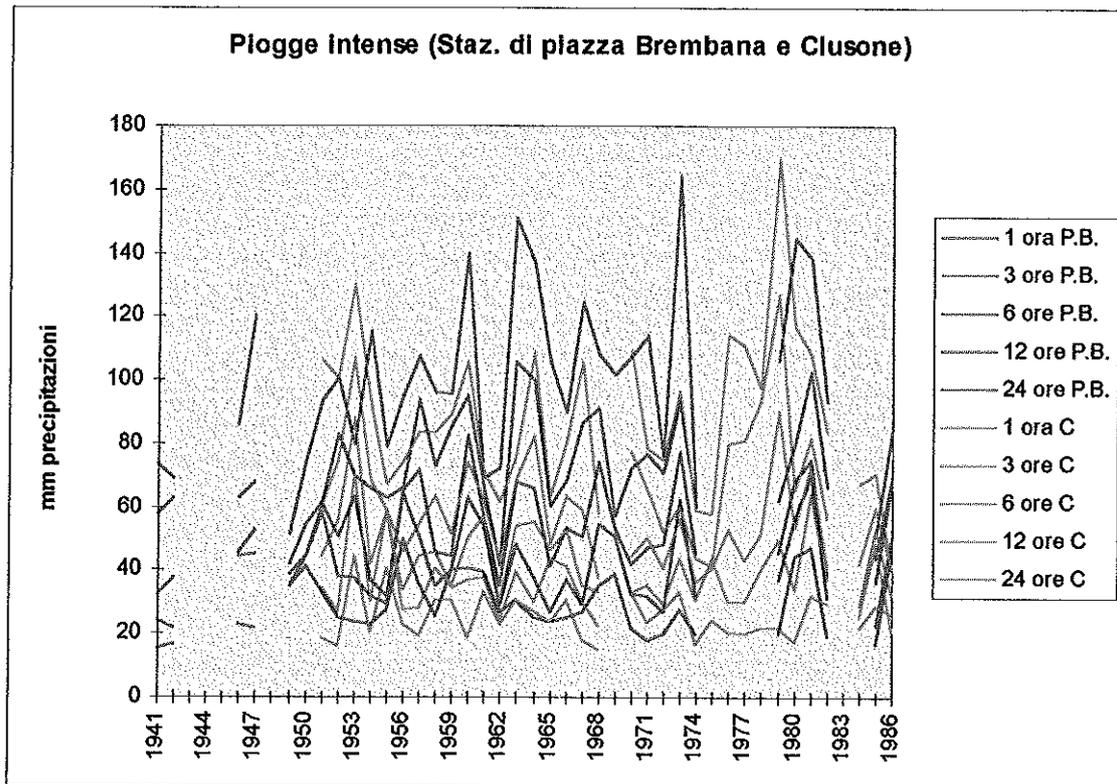
Anno	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
1941	16	24	33	58	74
1942	17	22	38	63	69
1943					
1944					
1945					
1946	24	44	46	63	86
1947	22	46	53	68	120
1948					
1949	35	35	39	42	52
1950	42	45	45	55	74
1951	33	59	61	61	94
1952	25	38	51	83	101
1953	24	38	64	70	80
1954	23	32	37	66	115
1955	28	30	32	63	80
1956	50	64	65	66	95
1957	36	51	72	94	108
1958	26	35	46	73	96
1959	40	40	44	85	95
1960	41	63	82	95	140
1961	40	54	57	66	69
1962	27	29	35	41	73
1963	31	49	68	106	151
1964	25	38	66	100	137
1965	24	27	41	60	106
1966	25	37	53	68	90
1967	27	30	51	87	124
1968	35	55	74	91	108
1969	39	51	53	57	102
1970	22	33	42	73	108
1971	18	32	47	77	114
1972	20	27	48	71	76
1973	28	62	77	93	164
1974	20	32	46	61	63
1975					
1976	29	29	40	57	89
1977					
1978					
1979	20	37	46	62	106,4
1980	45	56,6	68,8	79,8	145
1981	47,2	69,8	74,6	102,6	138,6
1982	19,2	31,4	37,6	66,4	93,2
1983					
1984					
1985	17,3	22,4	36,3	44	50,8
1986	45,8	50,2	67,4	69,2	83,4

- Tabella 4.2.4.2: Entità delle piogge intense (mm) di breve durata registrate dal  
S.I.I. nel periodo 1941-1986 per la stazione meteorologica di S. Martino dé  
Calvi - Piazza Brembana -

# COMUNE DI COSTA SERINA

Studio geologico preliminare alla pianificazione  
comunale redatto ai sensi della L.R. 24 Novembre 1997, n°41

Da tali dati e da come meglio evidenziato nel grafico successivo, si evince come generalmente la precipitazioni di Piazza Brembana siano più intense di quelle registrate a Clusone; esse verranno quindi, a scopo cautelativo, utilizzate per il calcolo.



- Fig. 4.2.4.1: Andamento piogge intense -

Per ognuna delle serie dei dati è stata eseguita una regolarizzazione secondo Gumbel (metodo dei minimi quadrati) permettendo così di associare all'altezza di precipitazione considerata la frequenza probabile.

# COMUNE DI COSTA SERINA

Studio geologico preliminare alla pianificazione  
comunale redatto ai sensi della L.R. 24 Novembre 1997, n°41

f	1 h	3h	6h	12h	24h
0,02632	16,0	24,4	32,6	58,0	73,6
0,05263	17,0	22,0	31,8	41,4	50,8
0,07895	17,3	22,4	35,0	42,2	51,6
0,10526	18,0	27,0	36,3	44,0	62,8
0,13158	19,2	27,0	37,4	54,8	69,0
0,15789	20,0	29,0	37,6	57,0	69,4
0,18421	20,0	29,2	38,0	57,0	72,6
0,21053	20,2	29,5	39,0	60,2	74,2
0,23684	22,0	29,8	40,0	60,6	76,4
0,26316	22,0	31,4	41,4	61,4	79,6
0,28947	23,0	31,8	42,2	62,0	79,8
0,31579	23,6	32,0	44,4	63,0	83,4
0,34211	24,2	32,0	44,6	63,2	86,2
0,36842	24,2	33,0	45,6	63,2	88,8
0,39474	25,0	35,0	46,0	66,0	90,0
0,42105	25,0	35,0	46,0	66,2	93,2
0,44737	25,4	37,0	46,2	66,4	93,6
0,47368	26,0	37,0	47,0	66,4	95,2
0,50000	26,8	37,6	48,4	68,0	95,4
0,52632	27,2	37,6	51,0	68,4	96,4
0,55263	28,0	38,4	51,0	69,2	101,0
0,57895	28,0	40,4	53,0	70,0	102,0
0,60526	29,0	44,4	53,2	71,2	105,6
0,63158	31,0	44,6	53,4	72,6	106,4
0,65789	33,4	45,6	57,4	73,0	107,6
0,68421	35,0	48,6	61,2	77,0	107,8
0,71053	35,0	50,2	63,8	79,8	108,0
0,73684	35,6	50,8	65,4	83,0	113,8
0,76316	39,0	51,2	66,0	85,4	115,0
0,78947	39,6	54,4	67,4	86,8	120,2
0,81579	40,4	55,0	68,0	91,0	124,4
0,84211	41,0	56,6	68,8	93,0	137,2
0,86842	41,6	58,8	72,0	93,6	138,6
0,89474	45,0	62,0	74,0	95,0	140,0
0,92105	45,8	63,0	74,6	100,0	145,0
0,94737	47,2	64,2	77,2	102,6	151,0
0,97368	50,0	69,8	82,2	106,0	164,0
MEDIA (h')	29,4	41,0	52,4	71,3	99,2
DEV. ST.(s(h))	9,529	12,984	14,045	16,419	27,500

- Tabella 4.2.4.4: Valori delle altezze di pioggia  $h$  espressi in mm, ordinati, per ogni singola durata, secondo valori crescenti ed associati alla corrispondente frequenza cumulata  $f$ ; per la stazione meteorologica di Piazza Brembana (SII) -

La legge di Gumbel ha la seguente espressione:

$$f_{(h)} = e^{-e^{-y}}$$

dove:

## COMUNE DI COSTA SERINA

Studio geologico preliminare alla pianificazione  
comunale redatto ai sensi della L.R. 24 Novembre 1997, n°41

➤  $y = \alpha \cdot (h-u)$

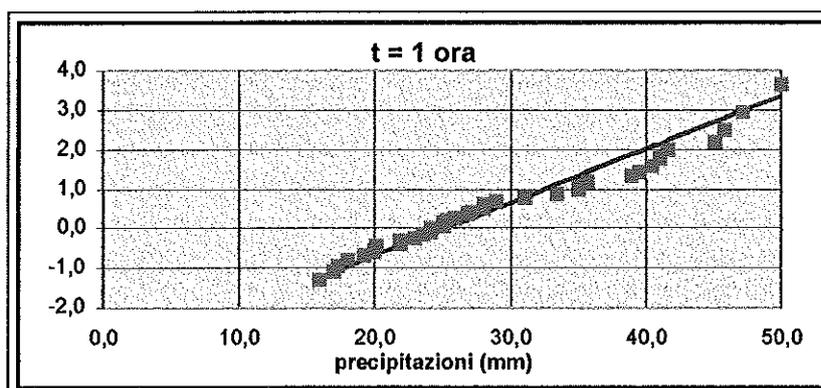
è la variabile ridotta, e  $\alpha$  ed  $u$  sono parametri della distribuzione legati alla media,  $h'$ , ed alla deviazione standard  $s(h)$  dalle seguenti relazioni:

- $\alpha = 1.283/s(h)$  (in cui  $h' = \Sigma h_i / N$ )
- $u = h' - [0.45 \cdot s(h)]$  (in cui  $s(h) = \text{dev. standard} = [\Sigma (h_i - h')^2 / (N - 1)]^{1/2}$ )

In prima battuta un giudizio sull'accettabilità delle distribuzioni di Gumbel viene effettuato mediante un confronto visivo basato su cartogrammi probabilistici in cui vengono riportate sia la distribuzione di Gumbel, rappresentata da una retta (colore blu) ricavata dalla suddetta formula, che le coppie di valori  $(h; y)$  (punti magenta) della serie di dati registrati dalla stazione pluviografica in cui:

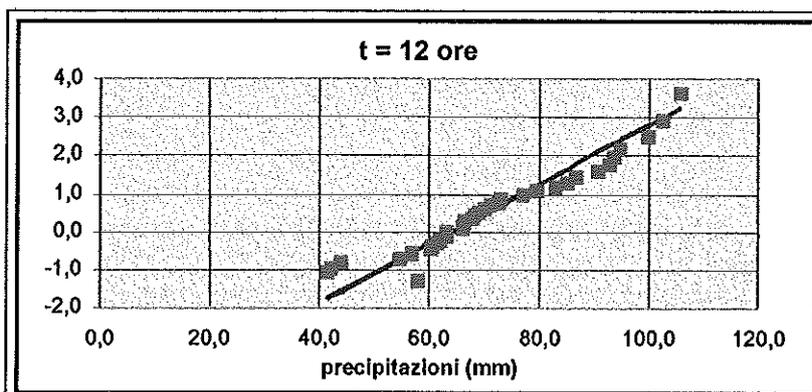
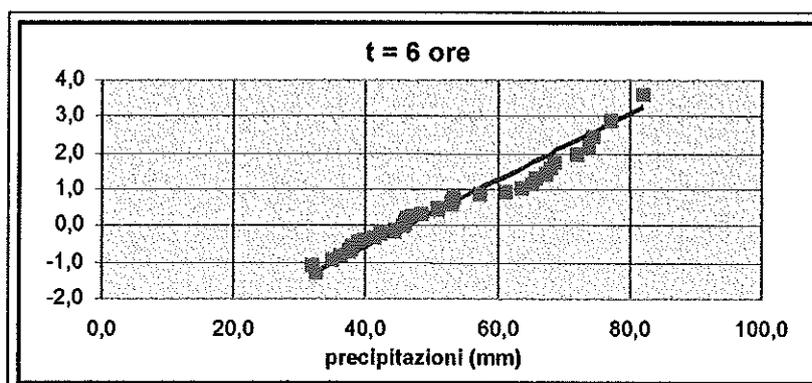
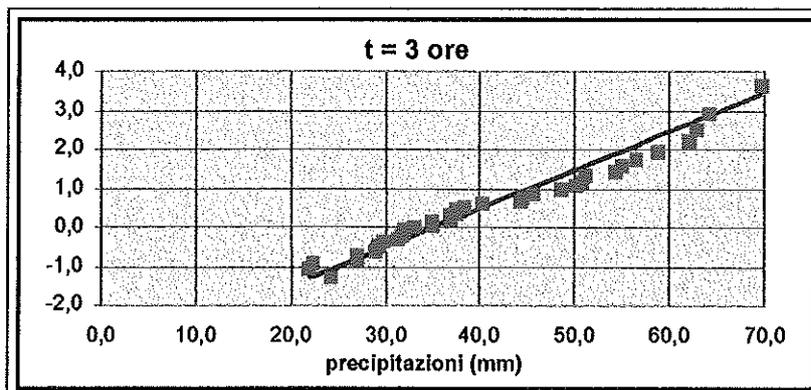
➤  $y = -\ln(-\ln f)$ .

Qui di seguito sono riportati i singoli diagrammi probabilistici relativi alle varie durate degli eventi piovosi:



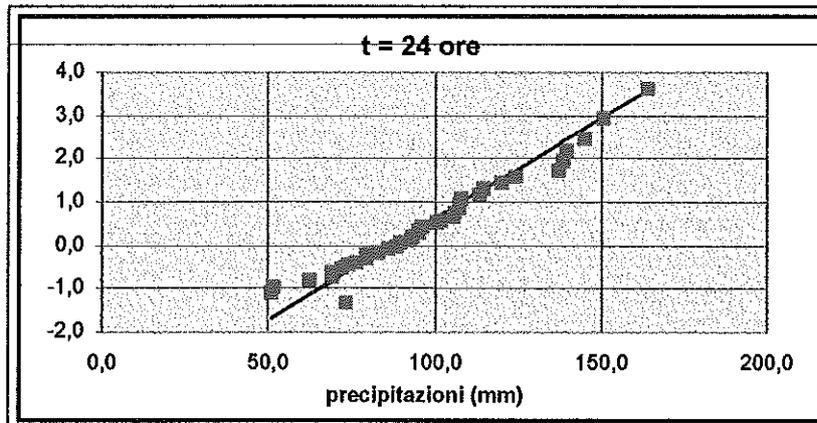
# COMUNE DI COSTA SERINA

Studio geologico preliminare alla pianificazione  
comunale redatto ai sensi della L.R. 24 Novembre 1997, n°41



# COMUNE DI COSTA SERINA

Studio geologico preliminare alla pianificazione  
comunale redatto ai sensi della L.R. 24 Novembre 1997, n°41



dalla cui analisi si desume come la distribuzione di Gumbel approssimi in maniera variabile, ma sempre accettabile, le varie serie di dati pluviometrici.

Un riscontro numerico di questa approssimazione è fornito invece dai valori dei coefficienti di correlazione tra le varie serie di dati, riassunti nella seguente Tabella 4.2.4.5 in cui si nota come tali valori siano sempre superiori a 0,97.

Precipitazioni	Coeff. di correlaz.
1 h	0,987
3 h	0,987
6 h	0,983
12 h	0,971
24 h	0,983

- Tabella 4.2.4.5: Coeff. di correlaz. tra le serie di dati ottenute dalle formule sopra esposte -

A seguito perciò dei risultati dell'elaborazione statistica e alla verifica della sua accettabilità nei confronti delle serie di dati pluviometrici a disposizione, si possono calcolare le intensità di pioggia  $h_T$  corrispondenti a ciascuna durata e relativi a differenti tempi di ritorno tramite la seguente formula:

$$h_T = u - [(1/\alpha) * \ln \ln (T/(T-1))]$$

# COMUNE DI COSTA SERINA

Studio geologico preliminare alla pianificazione  
comunale redatto ai sensi della L.R. 24 Novembre 1997, n°41

I parametri utilizzati per il calcolo sono i seguenti:

Parametri	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
N	37	37	37	37	37
h'	29,3703	41,0189	52,4081	71,3135	99,1784
s(h)	9,5293	12,9840	14,0445	16,4188	27,4996
$\alpha$	0,1346	0,0988	0,0914	0,0781	0,0467
u	25,0821	35,1761	46,0881	63,9251	86,8035

e tramite essi e l'applicazione della suddetta formula è possibile, una volta fissato un determinato tempo di ritorno  $T$ , ricavare il corrispondente valore  $h_t$ :

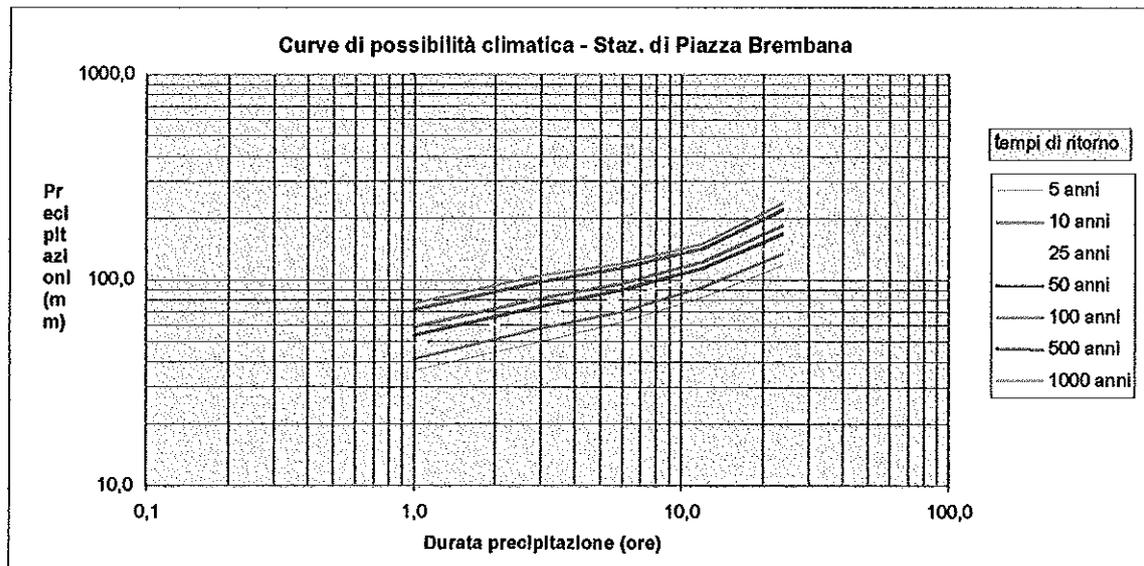
TEMPO DI RITORNO (Anni)							
Durata (ore)	5	10	25	50	100	500	1000
1 ora	36,2	41,8	48,8	54,1	59,2	71,2	76,4
3 ore	50,4	57,9	67,5	74,7	81,7	98,1	105,1
6 ore	62,5	70,7	81,1	88,8	96,4	114,1	121,7
12 ore	83,1	92,7	104,9	113,9	122,8	143,4	152,3
24 ore	119,0	135,0	155,4	170,4	185,4	220,0	234,9

- Tabella 4.2.4.6: Precipitazioni in mm e relativo tempo di ritorno -

L'ultimo passo per la determinazione delle curve di possibilità climatica relative ai diversi tempi di ritorno e riportate nel seguente grafico, consiste nell'interpolare le coppie di valori  $(h_t, t)$  riassunti poc'anzi fino a giungere ad espressioni del tipo  $h = a \cdot t^n$ . A questo scopo i punti  $(h_t, t)$  vengono riportati su un piano bilogarithmico in cui le curve monomie  $h = a \cdot t^n$  sono rappresentate con coefficiente angolare  $n$  ed ordinata (per  $t$  uguale a 1 ora) pari ad  $a$ .

# COMUNE DI COSTA SERINA

Studio geologico preliminare alla pianificazione  
comunale redatto ai sensi della L.R. 24 Novembre 1997, n°41



- Fig. 4.2.4.2: Curve di possibilità climatica relative alla staz. di Piazza Brembana

Dall'analisi del precedente grafico si deduce come ognuna delle curve di possibilità climatica possa essere approssimata tramite quattro rette: la prima per tempi inferiori a 3 ore, la seconda fra 3 e 6 ore, la terza tra 6 e 12 ore e la quarta superiori a 12 ore. Tali rette sono riportate qui di seguito:

Tempo di ritorno	Durata della precipitazione			
	< 3 ore	3÷6 ore	6÷12 ore	> 12 ore
<b>5 anni</b>	$h = 37.5 * t^{0.31}$	$h = 35.8 * t^{0.32}$	$h = 30.9 * t^{0.41}$	$h = 23.2 * t^{0.53}$
<b>10 anni</b>	$h = 41.6 * t^{0.29}$	$h = 41.5 * t^{0.30}$	$h = 36.3 * t^{0.38}$	$h = 23.9 * t^{0.56}$
<b>25 anni</b>	$h = 48.3 * t^{0.31}$	$h = 50.0 * t^{0.24}$	$h = 40.0 * t^{0.38}$	$h = 25.5 * t^{0.59}$
<b>50 anni</b>	$h = 54.4 * t^{0.29}$	$h = 57.6 * t^{0.24}$	$h = 47.2 * t^{0.35}$	$h = 25.6 * t^{0.61}$
<b>100 anni</b>	$h = 60.0 * t^{0.29}$	$h = 63.2 * t^{0.24}$	$h = 54.6 * t^{0.32}$	$h = 27.5 * t^{0.61}$
<b>500 anni</b>	$h = 70.0 * t^{0.29}$	$h = 74.1 * t^{0.24}$	$h = 54.6 * t^{0.32}$	$h = 32.4 * t^{0.61}$
<b>1000 anni</b>	$h = 75.7 * t^{0.29}$	$h = 82.4 * t^{0.21}$	$h = 68.0 * t^{0.32}$	$h = 32.0 * t^{0.64}$