

10. SINTESI DEL RAPPORTO REGIONALE CALABRIA

10.1 Premessa

Il presente capitolo sintetizza i risultati salienti del progetto VAPI per la stima delle portate di assegnato tempo di ritorno per qualsiasi sezione del reticolo idrografico dei corsi d'acqua della Calabria. L'illustrazione completa delle analisi condotte è riportata nel Rapporto Regionale *Valutazione delle piene in Calabria* (Versace et al., 1989).

La presentazione sintetica dei risultati, che si riporta nel seguito, fornisce unicamente le indicazioni essenziali all'applicazione delle procedure proposte.

10.2 Base dati utilizzata

10.2.1 Pluviometria

Tutti i dati utilizzati nella realizzazione del rapporto *Valutazione delle Piene in Calabria* (1988) sono stati desunti dagli annali del Servizio Idrografico e Mareografico (SIMN) di Catanzaro.

Per quanto riguarda i valori massimi annuali delle precipitazioni giornaliere e di breve durata sono state utilizzate tutte le stazioni calabresi del compartimento di Catanzaro che hanno funzionato nel periodo 1916-1987. In particolare sono state prese in considerazione 278 stazioni munite di pluviometro e 125 di pluviografo

Il numero di dati presenti per ogni stazione varia notevolmente; con riferimento ai massimi annuali delle piogge giornaliere esso va da un minimo di 6 (Sella Entrata) ad un massimo di 52 (Torano Scalo, Longobucco, Trepidò, Albi, Catanzaro, Girifalco, Serra S. Bruno, Motta S. Giovanni, Reggio Calabria, Rogliano) mentre, i massimi annuali delle piogge di breve durata presentano un numero minore di anni di funzionamento; si va infatti da 2 (Rende) ad un massimo di 37 (Cittanova e Decollatura).

Per i massimi annuali delle piogge giornaliere le stazioni con il numero di dati (n) maggiore di 30 sono 176 per un totale di 8015 anni stazione, mentre quelle con i massimi annuali delle piogge brevi con $n \geq 20$ sono 49 per un totale di 1423 anni stazione.

10.1.2 Idrometria

Per la regionalizzazione delle piene in Calabria sono state utilizzate le serie dei massimi annuali delle portate al colmo delle stazioni idrometriche con più di dieci anni di osservazione, già utilizzate per il primo livello di analisi regionale

I dati sono stati ricavati quasi tutti dalla Pubblicazione Speciale n°17 del Servizio Idrografico Italiano, disponibile a tutt'oggi in cinque edizioni successive che coprono un periodo di osservazione che va dal 1921 al 1970. Alcuni dati, relativi a pochi bacini, sono stati messi cortesemente a disposizione dallo stesso Ente per il periodo 1971-84.

Per quanto concerne le stazioni idrometriche esse sono 40, per 24 di esse sono stati utilizzati anche i valori delle portate giornaliere per un numero complessivo di anni di funzionamento pari a 4820, invece i massimi annuali delle portate al colmo sono stati inseriti per tutte le stazioni per un numero complessivo di anni pari a 571.

10.3. Leggi di variazione dei coefficienti di crescita con il periodo di ritorno

10.3.1 Pluviometria

10.3.1.1 Piogge giornaliere

Per la definizione del primo livello di regionalizzazione in Calabria sono state prese in considerazione tutte le serie dei massimi annuali delle piogge giornaliere con dimensione $N \geq 48$. Dal gruppo di stazioni così considerato sono state escluse le serie di S. Sosti, che

mostra un andamento irregolare delle frequenze storiche cumulate, e di Vibo Valentia, che presenta un valore eccezionale che non trova contemporanea corrispondenza nelle stazioni limitrofe. Si tratta in definitiva di 53 stazioni ben distribuite spazialmente, per un totale di 2624 anni stazione.

Nella ipotesi che la Calabria possa essere considerata come una unica zona pluviometrica omogenea, si sono ottenute le seguenti stime TCEV-ML:

$$\vartheta^* = 0.418 \quad (10.1a)$$

$$\Lambda^* = 2.154 \quad (10.1b)$$

La probabilità che un massimo annuale delle piogge giornaliere possa provenire dalla componente straordinaria è:

$$p_2 = 0.298 \quad (10.1c)$$

Al secondo livello di regionalizzazione è stato verificato che la Calabria può essere suddivisa in 3 sottozone omogenee (Fig. 10.1), denominate rispettivamente: Tirrenica, Centrale, Ionica e caratterizzate dai valori di Λ_1 riportati nella seguente tabella:

| Sottozona | J^* | L^* | $\hat{\Lambda}_1$ | h |
|-----------|-------|-------|-------------------|-------|
| Tirrenica | | | 48.914 | 5.173 |
| Centrale | 2.154 | 0.418 | 22.878 | 4.414 |
| Ionica | | | 10.987 | 3.681 |

Tab. 10.1: Secondo livello di regionalizzazione. Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle piogge in Calabria

Fissati i parametri di forma e di scala della distribuzione di probabilità cumulata (DPC) all'interno della SZO pluviometrica omogenea previamente identificata, resta univocamente determinata la relazione fra periodo di ritorno T e valore del coefficiente di crescita K_T :

$$T = \frac{1}{1 - F_K(k)} = \frac{1}{1 - \exp(-\Lambda_1 e^{-\eta k} - \Lambda^* \Lambda_1^{1/\vartheta^*} e^{-\eta k/\vartheta^*})} \quad (10.2)$$

Più utile dal punto di vista pratico è la forma inversa della (10.2) per cui, fissato un valore T del periodo di ritorno, si ricava il corrispondente valore del coefficiente di crescita K_T . Per la distribuzione TCEV tale relazione non è analiticamente ottenibile. Si riportano di seguito, nella Tab. 10.2, i valori di K_T ottenuti numericamente dalla (10.2) per alcuni valori del periodo di ritorno.

| T .anni) | 2 | 5 | 10 | 20 | 25 | 40 | 50 | 100 | 200 | 500 | 1000 |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| K_T (Tirreno) | 0.92 | 1.22 | 1.45 | 1.69 | 1.78 | 1.95 | 2.04 | 2.32 | 2.60 | 2.98 | 3.27 |
| K_T (Centrale) | 0.91 | 1.26 | 1.53 | 1.81 | 1.91 | 2.12 | 2.22 | 2.54 | 2.87 | 3.32 | 3.65 |
| K_T (Ionio) | 0.89 | 1.31 | 1.63 | 1.97 | 2.09 | 2.34 | 2.46 | 2.85 | 3.25 | 3.78 | 4.18 |

Tab. 10.2: Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita K_T per le piogge in Calabria per alcuni valori del periodo di ritorno T.

Nelle pratiche approssimazioni, è possibile anche fare riferimento alle seguenti espressioni

semplificata:

$$K_T = \left(\frac{\theta_* \text{Ln } \Lambda_*}{\eta} + \frac{\text{Ln } \Lambda_1}{\eta} \right) + \frac{\theta_*}{\eta} \text{Ln } T \quad (10.3)$$

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

$$(\text{SZO Tirrenica}) K_T = 0.3887 + 0.416 \text{Ln } T \quad (10.4a)$$

$$(\text{SZO Centrale}) K_T = 0.2837 + 0.488 \text{Ln } T \quad (10.4b)$$

$$(\text{SZO Ionica}) K_T = 0.1410 + 0.585 \text{Ln } T \quad (10.4c)$$

Per valori del periodo di ritorno superiori a 10 anni, l'errore nell'uso delle (10.4) in luogo della (10.2) è sempre inferiore al 10 %.

10.3.1.2 Piogge brevi

Considerata la relativa limitatezza dei dati pluviografici rispetto alla quantità di dati pluviometrici, è stato elaborato un modello probabilistico, relativo alle piogge brevi che impiega l'informazione regionale stabilita per i massimi annuali delle piogge giornaliere.

Per impiegare l'informazione regionale, si è assunta l'ipotesi che la curva di crescita, stabilita per i massimi delle piogge giornaliere, sia valida anche per rappresentare la distribuzione di probabilità dei coefficienti probabilistici di crescita dei massimi annuali delle piogge di durata inferiore.

10.3.2 *Idrometria*

10.3.1.1 Portate istantanee al colmo di piena

Per quanto riguarda i parametri relativi al primo livello di regionalizzazione delle portate al colmo di piena, nel Rapporto Calabria e nella presente sintesi, si accetta l'ipotesi formulata da Fiorentino et al. (1987a) che tutta l'Italia appenninica ed insulare possa essere considerata come un'unica zona idrometrica omogenea, ad eccezione della Sardegna, le cui serie storiche non sono state considerate, e dei bacini con superficie superiore ai 3.000 Km² o caratterizzati dai fattori locali prima individuati.

La stima dei parametri relativi al primo livello di regionalizzazione, utilizzando 28 serie con $N \geq 35$ per un totale di 1091 anni stazione, è risultata:

$$\hat{\Lambda}_* = 0.350 \quad (10.5a)$$

$$\hat{\theta}_* = 2.654 \quad (10.5b)$$

La probabilità che un massimo annuale delle portate al colmo possa provenire dalla componente straordinaria è:

$$p_2 = 0.261 \quad (10.6)$$

Dato l'esiguo numero di serie utilizzabili non è stato possibile, come nel caso delle piogge giornaliere, servirsi di tecniche di tipo cluster analysis per identificare le SZO idrometriche. In base ai dati disponibili si è formulata l'ipotesi che la Calabria sia suddivisibile in 3 SZO idrometriche del tutto analoghe a quelle identificate nell'analisi delle piogge, ammettendo uno stretto legame tra i valori di Λ_1 (numero medio di eventi annuali

indipendenti della componente base) che caratterizzano le piogge giornaliere e le portate al colmo.

Le stime dei Λ_1 relativi alle tre sottozone sono riportate in Tab. 10.3.

| Sottozona | J_* | L_* | L_1 | h |
|-----------|-------|-------|--------|-------|
| Tirrenica | 2.654 | 0.350 | 10.147 | 3.631 |
| Centrale | | | 5.519 | 3.033 |
| Ionica | | | 3.047 | 2.443 |

Tab. 10.3: Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle portate al colmo in Calabria

E' importante notare che in questo secondo caso i bacini che ricadono parte in una SZO e parte in un'altra sono stati attribuiti alla sottozona con il Λ_1 più basso, in conformità del significato fisico attribuito a tale parametro, ritenendo cioè non rilevanti ai fini delle piene gli eventi pluviometrici che interessano solo una parte del bacino imbrifero.

Si riportano di seguito, nella Tab. 10.4, i valori di K_T ottenuti numericamente dalla (10.2) per alcuni valori del periodo di ritorno.

| T (anni) | 2 | 5 | 10 | 20 | 25 | 40 | 50 | 100 | 200 | 500 | 1000 |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| K_T (Tirreno) | 0.86 | 1.31 | 1.68 | 2.11 | 2.26 | 2.58 | 2.74 | 3.23 | 3.74 | 4.41 | 4.92 |
| K_T (Centrale) | 0.83 | 1.38 | 1.82 | 2.33 | 2.50 | 2.89 | 3.08 | 3.68 | 4.28 | 5.08 | 5.69 |
| K_T (Ionio) | 0.79 | 1.47 | 2.02 | 2.65 | 2.87 | 3.35 | 3.58 | 4.32 | 5.07 | 6.07 | 6.82 |

Tab. 10.4: valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita K_T per le portate, per alcuni valori del periodo di ritorno T.

Allo scopo di semplificare l'applicazione del modello, è stata ricavata un'espressione esplicita di K_T in funzione del logaritmo del tempo di ritorno T dell'evento, espresso in anni:

$$(SZO Tirrenica) K_T = -0.1332 + 0.731 \ln T \quad (10.7a)$$

$$(SZO Centrale) K_T = -0.3566 + 0.875 \ln T \quad (10.7b)$$

$$(SZO Ionica) K_T = -0.6840 + 1.086 \ln T \quad (10.7c)$$

L'uso delle (10.6), comporta un errore inferiore al 10% per periodo di ritorno superiore a 10 anni.

10.4 Stima del valor medio

10.4.1 Leggi di probabilità pluviometrica

10.4.1.1 Piogge puntuali

Il terzo livello di regionalizzazione consiste nella individuazione di legami tra valori medi delle serie storiche ed i parametri geografici che caratterizzano le località in cui sono installate le stazioni di misura. Nel caso della Calabria si è stata osservata, all'interno di aree omogenee, una buona relazione tra la media annuale dei massimi giornalieri e la quota. Si è pertanto ipotizzato che l'intera regione possa essere suddivisa in aree omogenee in ciascuna delle quali esiste una correlazione tra i valori della media del massimo annuale dell'altezza di precipitazione giornaliera $m[h_g]$ e la quota sul mare Z, h, del tipo.

$$m[h_g] = C Z + D \quad (10.8)$$

in cui C e D sono due parametri variabili da area ad area. Nel caso della Calabria sono state individuate 13 aree pluviometriche omogenee (APO, vedi in Fig. 10.2) i cui coefficienti sono riportati in Tab. 10.5.

Se si analizzano i valori delle medie del massimo annuale dell'altezza di pioggia di durata d , $m[h(d)]$, relative alle diverse stazioni che ricadono in un'APO, si nota che per ogni stazione esista, per d compreso tra 1 e 24 ore un legame del tipo:

$$m[h(d)] = a d^n \quad (10.9)$$

essendo a ed n due parametri variabili da sito a sito.

Si è notato, inoltre, che il rapporto:

$$r = m[h_g] / m[h(24)] \quad (10.10)$$

relative ad uno stesso periodo di funzionamento, comprendente cioè solo gli anni per cui sono disponibili entrambi i valori, varia molto poco passando da una stazione all'altra. Nel caso della Calabria r è distribuito normalmente con media 0.875 e scarto quadratico medio 0.031.

Si può quindi utilizzare l'informazione ben più ampia disponibile sulle precipitazioni giornaliere anche per sviluppare il terzo livello dell'analisi regionale delle piogge brevi. Più precisamente:

- assumendo che $m[h(1)]$, e quindi il parametro a della (10.9) è costante in ciascuna delle aree omogenee e pari al valor medio pesato con gli anni di funzionamento degli \bar{x}_1 relativi alle serie con $N \geq 20$.
- assumendo che il rapporto r sia costante in tutta la regione e pari a 0.875;
- assumendo che in ogni stazione vale la (10.10);
- ricordando che in ciascuna area omogenea è nota la relazione (10.8).

si ottiene:

$$n = \frac{C Z + D + \text{Log } r - \text{Log } a}{\text{Log } 24} \quad (10.11)$$

I valori dei parametri necessari alla caratterizzazione delle (10.9) e (10.11) sono riportati, per ogni APO, in Tab. 10.5.

| Area Pluviometrica Omogenea | | a | c | d |
|-----------------------------|-------------------------------------|-------|---------|-------|
| T1 | (Pollino) | 27.79 | 0.00014 | 1.907 |
| T2 | (Sila grande – sottozona tirrenica) | 23.75 | 0.00021 | 1.683 |
| T3 | (Alto e medio Tirreno) | 26.61 | 0.00022 | 1.769 |
| T4 | (Stretto) | 26.73 | 0.00028 | 1.736 |
| C1 | (Basso Crati) | 21.73 | 0.00049 | 1.690 |
| C2 | (Sila grande – sottozona centrale) | 23.75 | 0.00021 | 1.683 |
| C3 | (Sila greca) | 31.02 | 0.00016 | 1.951 |
| C4 | (Sila piccola) | 33.22 | 0.00032 | 1.840 |
| C5 | (Serre orientali) | 34.99 | 0.00036 | 1.815 |
| I1 | (Alto Ionio) | 24.37 | 0.00026 | 1.778 |
| I2 | (Marchesato) | 30.97 | 0.00025 | 1.922 |
| I3 | (Medio e basso Ionio) | 39.58 | 0.00043 | 1.953 |
| I4 | (Aspromonte merid.) | 34.13 | 0.00027 | 1.817 |

Tab. 10.5. Regionalizzazione delle piogge orarie. Elementi caratteristici delle aree pluviometriche omogenee

10.4.1.2 Pioggie areali

Per passare dalla informazione puntuale a quella areale, per valutare cioè la media delle massime precipitazioni di durata d su tutta l'area, la stima può essere fatta a rigore solo disponendo delle serie storiche costituite dai massimi annuali delle piogge di durata s sull'area in esame.

In assenza di tali dati, una stima largamente approssimata può essere ottenuta assumendo che la media areale è pari alla media dei valori medi puntuali. I risultati sono tanto più sovrastimati quanto più grande è l'area considerata.

Una ulteriore approssimazione nella stima della precipitazione areale è stata introdotta ponendo nella (10.11) Z pari alla quota media ipsografica del bacino, il che equivale ad assumere che sia lineare il legame tra $m[h(d)]$ e Z . Tale assunzione da un lato consente di non appesantire l'indagine con la ricostruzione dell'integrale ipsografico, dall'altro non introduce sostanziali errori come evidenziato da alcune verifiche numeriche.

Analogamente nel caso di bacino ricadente in più aree omogenee la legge di probabilità pluviometrica è stata ottenuta come media pesata tra le curve relative alle ipotesi di bacino ricadente per intero in ciascuna delle aree. Anche in questo caso si è introdotta una notevole semplificazione nei calcoli senza provocare errori apprezzabili, almeno alla luce dei tests numerici effettuati.

In Italia uno studio sul fattore di riduzione areale (ARF) è stato condotto da Penta (1974) per i bacini del versante Jonico della Basilicata, considerando le piogge giornaliere ed ottenendo una curva che esprime ARF in funzione di A .

In Calabria un'indagine sull'andamento areale delle piogge giornaliere condotte sul bacino del Fiume Crati (Battista, 1988; Pascuzzi e Catalano, 1988; Catalano et al., 1989), ha fornito risultati sostanzialmente analoghi a quelli ottenuti per la Basilicata e che vengono qui di seguito richiamati.

Sulla base dei dati sopra descritti nel *Rapporto Calabria* viene proposta una relazione interpolatrice del tipo

$$ARF = a + (1-a) \exp(-bA) \quad (10.12)$$

i cui parametri a e b , calcolati con il metodo dei minimi quadrati, sono risultati pari rispettivamente a 0.732 e 0.0018 avendo espresso A in Km^2 , valida per $d=24$ ore.

In ogni modo, sulla base dei risultati conseguiti, del confronto con altri metodi e delle differenze riscontrate nei due periodi analizzati, nel *Rapporto Calabria* viene riportato “..Sono necessari tuttavia ulteriori approfondimenti per valutare l'effettiva incidenza che fattori morfologici legati in particolare all'andamento orografico, e fattori climatici legati alla struttura di correlazione spaziale, potrebbero avere nella stima di ARF.”

10.4.2 *Piena media annua*

10.4.2.1 Portata al colmo di piena istantanea

Quando nella sezione terminale del bacino in studio esiste una stazione di misura idrometrica, la stima della piena media annua può essere effettuata direttamente sulla serie osservata dei massimi annuali al colmo di piena, essendo tale stima piuttosto affidabile non appena la serie osservata sia di lunghezza appena sufficiente (4-5 anni)

Nel caso più frequente in cui tali dati dovessero mancare del tutto, possono essere utilizzati diversi modelli per la stima indiretta della piena media annua; nel seguito ne vengono riportati i principali risultati applicativi.

Regressione empirica: Diverse formulazioni di tipo regressivo fra la piena media annua e le principali grandezze fisiche del bacino possono essere considerate; in particolare, per le sue prestazioni statistiche, valutate attraverso una tecnica di *cross-validation*, si propone qui la seguente relazione:

$$m(Q) = 1.578 A_{rid}^{0.839} \quad (10.12)$$

Di un certo interesse è anche la relazione:

$$\bar{x} = 0.395 Sli^{0.869} \quad (10.13)$$

in cui:

Sli = somma delle lunghezze dei tratti del reticolo idrografico, in scala 1:25.000

che presenta il vantaggio di introdurre un parametro più oggettivo rispetto ad A_{rid} , anche se più oneroso da valutare.

Nel caso di regressione multipla, utilizzando tecniche di *stepwise*, risultata abbastanza soddisfacente la relazione :

$$m(Q) = 0.0032 A_{rid} m[I(t_r)] \quad (10.14)$$

Introducendo un parametro climatico come la media del massimo annuale dell'intensità di pioggia relativa al tempo di ritardo t_r sul bacino, $m[I(t_r)]$, il comportamento di alcune stazioni di misura idrometriche, quali l'Alli a Orso, non appare più irregolare come nel caso dell'uso delle (10.12) o (10.13).

Modelli concettuali: Il metodo razionale. Un'appoggio alternativo alle analisi di regressione puramente empiriche è costituito dalla applicazione della formula razionale.

La struttura della formula razionale indagata in questo caso è:

$$m(Q) = C_* A_{rid} m[I(t_r)] / 3.6 + c_o \quad (10.15)$$

dove:

C_* : coefficiente di piena, adimensionale,

c_o : costante con le dimensioni di $m(Q)$, in m^3/s

A_{rid} , $m[I(t_r)]$ e $m(Q)$ sono espressi rispettivamente in km^2 e mm/ora .

Considerando due insiemi campionari (18 bacini con stima campionaria di t_r , 11 bacini con numerosità $N \geq 18$ anni) ed imponendo o meno la condizione del passaggio per l'origine, sono stati calcolati i coefficienti della relativa equazione.

I risultati si dimostrano soddisfacenti per entrambi i gruppi di bacini. Il migliore risultato comunque è relativo al gruppo di 11 bacini con stima diretta di t_r ed assume espressione:

$$m(Q) = 0.168 A_{rid} m[I(t_r)] / 3.6 - 16.57 \quad (10.16)$$

È da osservare inoltre che la (10.16) si discosta dalla formula razionale classica per la presenza di un termine costante negativo che può essere interpretato come un indice delle perdite per infiltrazione mediato su tutti i bacini.

Nel caso in cui si imponga $c_o=0$, il migliore risultato si ha con la relazione:

$$m(Q) = 0.158 A_{rid} m[I(t_r)] / 3.6 \quad (10.17)$$

L'incertezza connessa alla stima di t_r in assenza di dati rimane tuttavia molto elevata e fa peggiorare i risultati delle relazioni che, nelle (10.14), (10.16) e (10.17), richiedono la determinazione di t_r e finisce per rendere più plausibile il ricorso ad espressioni che, come la

(10.12), prescindono dalla determinazione di t_r .

In conclusione i risultati relativi al terzo livello di regionalizzazione delle piene e le procedure di stima che ne derivano sono ancora incerti e richiedono ulteriori analisi ed approfondimenti. Tuttavia pur se in questi limiti, l'analisi fin qui sviluppata ha fornito gli elementi necessari per ottenere stime sufficientemente attendibili della portata indice, anche attraverso l'uso di procedure tra loro alternative ed il confronto tra i risultati da esse forniti.

Riferimento bibliografici

Battista T., 1988. "Bacino del Crati: valutazione dei massimi annuali delle piogge areali con il metodo dei topoietai". CNR-IRPI, Rapp. int. n.240, Cosenza.

Catalano E., F. Pascuzzi e P. Versace, 1989. "I massimi annuali delle piogge areali sul bacino del fiume Crati". Previsione e prevenzione degli eventi idrologici estremi e loro controllo, Rapporto '88, GNDICI, CNR, Roma.

Fiorentino M., S. Gabriele, F. Rossi e P. Versace, Hierarchical approach for regional flood frequency analysis. in *Regional Flood Frequency Analysis*, edited by V.P. Singh, pp. 35-49, D. Reidel Publishing Company, Dordrech, Holland, 1987.

Pascuzzi F. e E. Catalano, 1989. "Stima della pioggia areale: alcune applicazioni sul bacino del Crati". CNR-IRPI, Rapp. int. n.267, Cosenza.

Versace, P., E. Ferrari, S. Gabriele e F. Rossi, Valutazione delle Piene in Calabria. Bozza Finale, CNR-IRPI e GNDICI, *Geodata*, 30, P. Benvenuto, Cosenza, 1989