Valutazione della portata di pioggia in una fognatura urbana.

Si vuole determinare la portata di pioggia massima, con assegnato periodo di ritorno, in una sezione *S* della rete di drenaggio che sottende un bacino di area *A*. Detta *Q* la variabile casuale corrispondente al massimo annuale della portata al colmo in detta sezione, interessa stimare Q_T, in cui T è il periodo di ritorno in anni, assegnato in base a considerazioni politico-economiche.

Il metodo che si utilizza è direttamente derivato dal metodo della piena indice, utilizzato per la stima delle portate di piena nei corsi d'acqua naturali. Si pone:

$$Q_T = K_{T,Q} \cdot Q_m \tag{1}$$

in cui Q_m è il valore medio della variabile Q e $K_{T,Q}$ è comunemente detto **fattore probabilistico di crescita con il periodo di ritorno**. In pratica, la dipendenza dal periodo di ritorno è assegnata mediante la distribuzione di $K_{T,Q}$, mentre la portata indice Q_m viene stimata con un modello di trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi, e perciò dipende dal regime pluviometrico e dalle caratteristiche fisiche del bacino di drenaggio.

È di uso comune stimare Q_m mediante la **formula razionale**, che esprime una trasformazione lineare delle piogge in portate mediante un **coefficiente di piena** C^*, che rappresenta il rapporto fra la portata massima e il valore medio della massima intensità di pioggia areale (con riferimento all'area della superficie del bacino) aggregata su una certa durata:

$$Q_m = C^* \cdot A \cdot i_{m,A}(d_k) \cdot \frac{1}{3.6} \tag{2}$$

Il divisore correttivo 3.6 serve a convertire le unità di misura. In particolare, la formula razionale, nel modo in cui è scritta, fornisce la portata in m^3/s, esprimendo l'area in km^2 e l'intensità di pioggia in mm/h.

Con d_k si è indicata la **durata critica** rispetto alla quale si considera il massimo annuale di pioggia areale, il cui valore medio è $i_{m,A}(d_k)$. Quest'ultimo viene messo in relazione con il valor medio del massimo annuale di pioggia puntuale di durata d_k, che indichiamo con $i_m(d_k)$, mediante un **fattore di riduzione areale** f_A, dipendente dall'area e dalla durata:

$$i_{m,A}(d_k) = f_A(A, d_k) \cdot i_m(d_k) \qquad (3)$$

La stima della portata Q_T, perciò, richiede la stima delle grandezze d_k, $i_m(d_k)$, f_A, C^* e $K_{T,Q}$.

La durata critica d_k rappresenta la durata che deve avere lo ietogramma rettangolare, con intensità definita dalla legge di probabilità pluviometrica, in corrispondenza del quale si ottiene il massimo valore della portata al picco, una volta assegnato il modello di trasformazione afflussi-deflussi del bacino. Tale durata è normalmente intermedia fra il tempo di ritardo e il tempo di corrivazione del modello di risposta del bacino di drenaggio. Nella pratica, la durata critica viene spesso posta pari al tempo di ritardo nella risposta del bacino t_r. Dalle formule di Schaake, ottenute mediante indagini sperimentali su bacini urbani, t_r si può mettere in relazione con l'area impermeabile del bacino, e con lunghezza e pendenza media dell'asta principale:

$$t_r = 1.40 \cdot L^{0.24} \cdot P_i^{-0.24} \cdot P_m^{-0.16} \qquad \text{[minuti]} \qquad (4)$$

in cui L è la lunghezza dell'asta principale espressa in metri, P_i è la frazione di area impermeabile del bacino:

$$P_i = \frac{A_{imp}}{A} \qquad (5)$$

e P_m è la pendenza idraulica media dell'asta principale (in %), calcolata secondo la formula di Taylor-Schwartz:

$$P_m = \left[\frac{L}{\sum_{j=1}^{n} \frac{l_j}{\sqrt{P_j}}} \right]^2 \qquad (6)$$

P_j e l_j rappresentano rispettivamente la pendenza (in %) e la lunghezza (parziale) della j-ima livelletta componente l'asta principale. -È evidente che deve risultare:

$$\sum_{j=1}^{n} l_j = L \qquad (7)$$

Allo stesso modo, le formule di Schaake pongono in relazione il valore del coefficiente di piena C^* con le caratteristiche fisiche del bacino:

$$C^* = 0.14 + 0.65 \cdot P_i + 0.05 \cdot P_m \qquad (8)$$

Il valore di $i_m(d_k)$, o, se si preferisce, di $i_m(t_r)$, va determinato dalla **legge di probabilità pluviometrica** o **legge intensità-durata** specifica della zona in cui si trova il bacino. Si può ricorrere a una stima diretta di tale legge da misurazioni in sito, utilizzando una classica legge monomia del tipo:

$$i_m(d) = a \cdot d^{n-1} \qquad 0 \leq n \leq 1 \qquad (9)$$

i cui parametri sono facilmente stimabili mediante regressione lineare in campo log-log. In tal caso si ricava, dalle serie storiche dei massimi annuali di pioggia a diverse durate, l'intensità media per ogni durata, e si procede alla regressione. Il Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale fornisce, sugli Annali Idrologici, il valore del massimo annuale per piogge di durata 1, 3, 6, 12 e 24 ore, e il valore di piogge particolarmente intense e di durata inferiore a 1 ora. Queste ultime possono anche essere considerate rappresentative dei massimi annuali.

In genere, si osserva che una legge monomia a 2 parametri si adatta molto bene ai dati per durate comprese fra 1÷3 h e 24 h. Una legge di potenza del tipo (9) sembra adatta anche per durate inferiori a 1 h, ma i parametri *a* e *n* assumono valori differenti. Oltre ad avere cura di verificare di volta in volta in quale intervallo di durate si va a effettuare la stima, bisogna anche ricordare che una legge di questo tipo ha una singolarità nello zero, tende cioè a fornire un'intensità di pioggia che va all'infinito per durate molto piccole.

In alternativa si può adottare una legge a 4 parametri, di tipo iperbolico. Per la Campania, i parametri sono stati stimati su base regionale, dividendo il territorio in 6 zone omogenee diverse (Rapporto VAPI Campania, Rossi e Villani 1995):

$$i_m(d) = \frac{i_0}{\left[1 + d/d_c\right]^{C - D \cdot Z}} \tag{10}$$

in cui Z è la quota del bacino. I parametri i_0, d_c, C e D sono tabellati (VAPI Campania, p.173, tab. 5.5). Va sottolineato che nella relazione appena esposta le durate vanno espresse in ore.

Note A e t_r, si può calcolare il fattore di riduzione areale, utilizzando, per esempio, un'espressione del NERC:

$$f_A(A, t_r) = 1 - \exp\left(-c_2 t_r^{\,c_3}\right) \cdot \left[1 - e^{-c_1 A}\right] \tag{11}$$

in cui le aree sono espresse in km^2 e le durate in ore.

Per la Campania i parametri assumono i valori:

$c_1 = 0.0021$
$c_2 = 0.53$
$c_3 = 0.25$

Vale la pena far notare come, **per bacini piccoli il coefficiente di riduzione areale sia, di fatto, pari a 1**. In pratica, considerato anche il fatto che tale fattore è sempre ≤ 1**, nel progetto di una rete di drenaggio urbano si pone $f_A = 1$**, commettendo un errore (in eccesso, e quindi conservativo) di minima entità.

Resta da determinare $K_{T,Q}$, rispetto al quale si introduce un'ulteriore ipotesi semplificativa. Si ipotizza che la trasformazione piogge-portate sia lineare e stazionaria, per cui la distribuzione di $K_{T,Q}$ risulta uguale a quella del fattore probabilistico di crescita con il periodo di ritorno delle piogge $K_{T,P}$. Se si adotta un modello probabilistico del valore estremo a doppia componente (TCEV, Rossi et al. 1984), si ha:

$$F_K(k) = \exp\left(-\Lambda_1 e^{-k\eta} - \Lambda_1^{\,1/\theta_*} \Lambda_* e^{-k\eta/\theta_*}\right) \tag{12}$$

in cui:

$$\eta = 0.5772 + \log(\Lambda_1) + T_0 \tag{13}$$

$$T_0 = \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^{j-1} \Lambda_*{}^{j} \Gamma(j/\theta_*)}{j!} \tag{14}$$

Si può effettuare una stima dei parametri di forma (θ_* e Λ_*) e di scala (Λ_1) della distribuzione in base alle serie storiche dei massimi annuali di pioggia registrate in siti adiacenti. Trattandosi, però, di parametri collegati a momenti della distribuzione di ordine elevato, la stima dei parametri da una singola serie storica è affetta da errori notevoli. Per questo si preferisce utilizzare, per i parametri, i valori ottenuti da una stima regionale. In quest'ultimo caso, si possono utilizzare i valori di $K_{T,P}$ riportati nella tabella 6.2 del rapporto VAPI, oppure stimare $K_{T,P}$ mediante la formula approssimata:

$$K_T = \left(\frac{\theta_* \log \Lambda_*}{\eta} + \frac{\log \Lambda_1}{\eta} \right) + \frac{\theta_*}{\eta} \log T \tag{15}$$

Utilizzando i valori dei parametri riportati nella tabella 6.1 del rapporto VAPI, si ottiene:

$$K_T = -0.0373 + 0.517 \cdot \ln T \tag{16}$$

FONTE: Università di Salerno