

METODO DELLE PIOGGE PER IL CALCOLO DEI VOLUMI DI INVASO PER L'INVARIANZA IDRAULICA

ing. Martino Cerni

1. Premessa

In queste brevi note si presenta il metodo semplificato “delle piogge” illustrandone l'implementazione in un foglio di calcolo Excel.

Il metodo proposto si prefigge la stima del volume d'invaso necessario per garantire l'invarianza idraulica ricalcando il procedimento esposto nel testo “Sistemi di fognatura. Manuale di progettazione” (CSDU – HOEPLI, Milano, 1997).

La procedura si basa sulla sola curva di possibilità pluviometrica, sulle caratteristiche di permeabilità della superficie tributaria e sulla portata massima, supposta costante, che si vuole avere allo scarico del sistema.

La risposta idrologica del sistema è quindi estremamente semplificata trascurando tutti i processi di trasformazione afflussi-deflussi (*Routing*): permane unicamente la determinazione della precipitazione efficace (separazione dei deflussi) ottenuta con il metodo del coefficiente di afflusso.

Tale ipotesi semplicistica implica che le portate in ingresso al sistema di invaso siano sovrastimate e di conseguenza, nel caso si riesca a garantire la costanza della portata massima allo scarico, anche i volumi di laminazione risulteranno sovrastimanti e cautelativi. Per contro, l'ipotesi di portata costante risulta accettabile solo per piccole luci di scarico.

2. Curve di possibilità pluviometrica di riferimento

In questa sede si farà riferimento alle curve contenute nello studio “Analisi regionalizzata delle precipitazioni per l'individuazione di curve segnalatrici di possibilità pluviometrica di riferimento” commissionato dal Commissario Delegato per l'emergenza idraulica conseguente l'evento del 26 settembre 2007 (OPCM n. 3621 del 18/10/2007) alla società Nordest Ingegneria S.r.l.. Lo studio è scaricabile, facendone richiesta, dal sito www.commissarioallagamenti.veneto.it

Senza entrare nei dettagli dello studio se ne richiamano solamente i risultati di interesse per queste note, ossia l'individuazione, in seguito ad una analisi regionalizzata dei dati di pioggia registrati da 27 stazioni ARPAV, opportunamente selezionate, tra gli anni 1989 e 2007, delle curve di possibilità pluviometrica (estrapolate fino ad un tempo di ritorno TR di 200 anni) per tutti i Comuni ricadenti all'interno dei comprensori dei Consorzi di bonifica Dese Sile, Sinistra Medio Brenta e Bacchiglione Brenta nonché tutti i comuni individuati dall'ordinanza n. 2/2008 del Commissario Delegato.

Le curve di possibilità pluviometrica proposte sono espresse sia con la formula italiana a due parametri (a, n) che con la formula più generale a tre parametri (a, b, c) che consente una migliore interpolazione dei dati per tutte le dieci durate considerate (5', 10', 15', 30', 45', 1 h, 3 h, 6 h, 12 h, 24 h). Le curve a due parametri infatti non riescono ad interpolare adeguatamente i dati per l'intero range di durate; è necessario quindi individuare intervalli più ristretti di durate, entro i quali la formula bene approssimi i valori ottenuti con la regolarizzazione regionale.

Le curve a due parametri sono quindi fornite e tarate per sei intervalli di durate (5'÷45' $t_p \approx 15'$, 10'÷1h $t_p \approx 30'$, 15'÷3h $t_p \approx 45'$, 30'÷6h $t_p \approx 1h$, 45'÷12h $t_p \approx 3h$, 1h÷24h $t_p \approx 6h$).

3.1 Metodo delle piogge per curve di possibilità pluviometrica a due parametri

Si presenta ora il metodo e le sue equazioni applicati al caso che si intenda utilizzare la formulazione classica (italiana) a due parametri (a, n) della curva di possibilità pluviometrica:

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

dove h è l'altezza di pioggia (mm) corrispondente a un evento di durata t .

Da queste posizioni deriva che il volume di pioggia entrante nel sistema di invaso in conseguenza ad un evento pluviometrico di durata t si può esprimere:

$$V_{IN} = S \cdot \varphi \cdot h(t) = S \cdot \varphi \cdot a \cdot t^n$$

Dove φ è il coefficiente di afflusso e S la superficie del bacino drenato a monte del sistema di invaso.

Il volume in uscita dal sistema nello stesso intervallo t di tempo sarà invece:

$$V_{OUT} = Q_{IMP} \cdot t = S \cdot u_{IMP} \cdot t$$

Dove Q_{IMP} e u_{IMP} sono rispettivamente la portata e il coefficiente udometrico imposti allo scarico.

Il volume invasato al tempo t sarà allora dato dalla differenza dei volumi in ingresso e in uscita dal sistema:

$$V = V_{IN} - V_{OUT} = S \cdot \varphi \cdot a \cdot t^n - Q_{IMP} \cdot t$$

Si tratta ora di trovare la durata di pioggia t_{cr} che massimizza il volume invasato V_{max} derivando l'espressione precedente. Analiticamente la condizione di massimo è così espressa:

$$t_{cr} = \left(\frac{Q_{IMP}}{S \cdot \varphi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

e quindi il volume da assegnare al sistema di invaso sarà:

$$V_{max} = S \cdot \varphi \cdot a \cdot \left(\frac{Q_{IMP}}{S \cdot \varphi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{n}{n-1}} - Q_{IMP} \cdot \left(\frac{Q_{IMP}}{S \cdot \varphi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

L'applicazione del metodo utilizzando le curve di possibilità pluviometrica individuate dallo studio commissionato dal Commissario Delegato deve esser ripetuta, una volta individuate le caratteristiche del bacino e le altre condizioni imposte (S, φ, Q_{IMP} , TR, Comune), per ognuno dei sei intervalli di durate (quindi coppie di parametri a e n); infatti non essendo nota a priori la durata critica della precipitazione non è possibile scegliere la curva che meglio si presti a interpretare il fenomeno.

La scelta della curva più adatta può esser condotta confrontando i sei scarti calcolati tra la durata critica e il relativo tempo centrale (t_p) dell'intervallo di durata: la curva più idonea sarà quindi quella per cui risulta minore lo scarto suddetto. A tale curva corrisponderà anche di massima il volume V_{max} minimo tra quelli calcolati.

3.2 Utilizzo del foglio di calcolo Excel – curve di possibilità pluviometrica a due parametri

Nel semplice programma di verifica allegato è implementato il metodo semplificato sopra illustrato. I dati in input da inserire a cura dell'Utilizzatore sono:

- Il Comune all'interno del cui territorio ricade l'ambito in studio (menù a tendina);
- Il tempo di ritorno (TR) con il quale svolgere le elaborazioni, tipicamente 50 anni (menù a tendina);
- La superficie S dell'ambito (m^2);
- Il coefficiente di afflusso medio φ caratteristico dell'ambito;
- Il coefficiente udometrico u_{IMP} imposto allo scarico (tipicamente 10 l/s,ha).

Il programma a questo punto ha tutti gli elementi per trovare la soluzione: in modo iterativo cerca la curva di possibilità pluviometrica corretta (calcolando per tutti e sei gli intervalli di durate il tempo critico e confrontandolo con il relativo tempo centrale), stima il tempo critico e quindi il volume di invaso necessario per garantire il non superamento della portata imposta (Q_{IMP}).

I risultati restituiti dal programma (oltre alla ripetizione di dati in input del Comune e del tempo di ritorno) sono:

- i parametri a e n della curva di possibilità pluviometrica e il rispettivo tempo centrale dell'intervallo di durate (t_p).
- il tempo critico t_{cr} (espresso in minuti e in ore);
- il volume di invaso necessario (m^3);
- il volume di invaso specifico (m^3/ha).

3.3 Esempio numerico – Metodo delle piogge due parametri

A titolo esplicativo si presenta un esempio dell'impiego del foglio elettronico.

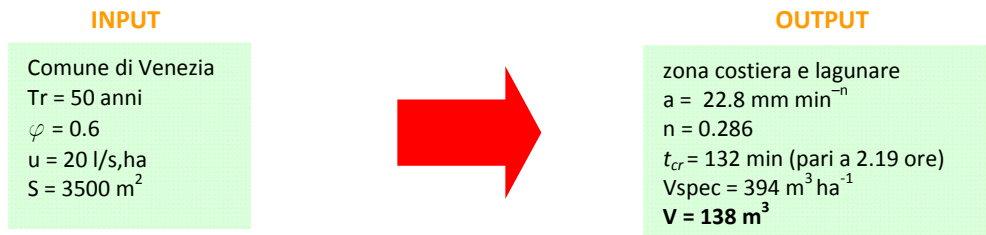
Sia da calcolare il volume necessario per garantire l'invarianza idraulica per un'area di 3500 m^2 , mediamente impermeabilizzata (coefficiente d'afflusso $\varphi = 0.6$) situata nel Comune di Venezia.

La portata massima ammessa allo scarico è di 7 l/s corrispondente ad un coefficiente udometrico di 20 l/s, ha. Il tempo di ritorno richiesto è 50 anni.

Selezionati il Comune ([Venezia](#)) e il tempo di ritorno ([50 anni](#)) tramite i corrispondenti menù a tendina e inseriti i valori del coefficiente d'afflusso ($\varphi = 0.6$), del coefficiente udometrico imposto allo scarico ([20 l/s,ha](#)) e della superficie ([3500 \$m^2\$](#)) il programma restituisce il seguente risultato:

- ripete il Comune ([Venezia](#)) e il tempo di ritorno ([50 anni](#)) impostati;
- individua, tra le quattro macroaree omogenee dal punto di vista pluviometrico nelle quali è stato suddiviso il territorio oggetto dell'analisi regionalizzata, quella alla quale appartiene il Comune ([ZONA COSTIERA E LAGUNARE](#));
- seleziona i parametri a ([22.8 mm min⁻ⁿ](#)) e n ([0.286](#)) della curva di possibilità pluviometrica;
- indica il "tempo centrale" dell'intervallo di durate di pioggia in base al quale la curva è stata adattata ([180 minuti](#));
- calcola i valori del tempo critico ([132 minuti](#), pari a [2.19 ore](#)), del volume specifico ([394 \$m^3 ha^{-1}\$](#)) e del volume d'invaso da reperire ([138 \$m^3\$](#)).

Concludendo, per garantire il rispetto dell'invarianza idraulica in questo caso il progettista dovrà reperire almeno 138 m³ di volume di invaso.



4.1 Metodo delle piogge per curve di possibilità pluviometrica a tre parametri

Si presenta ora l'implementazione del medesimo metodo per il calcolo del volume di invaso utilizzando le curve a tre parametri.

L'impostazione concettuale è ovviamente la stessa, si semplifica però notevolmente la scelta dei parametri delle curva di possibilità pluviometrica (essendo unica per tutte le durate di pioggia comprese tra i minuti e le 24 ore) mentre qualche sforzo in più è richiesto per la determinazione della condizione di massimo.

La complicazione nasce dall'impossibilità di esprimere in forma esplicita il tempo critico: in sostanza, come sarà chiarito più avanti, si tratta di risolvere numericamente l'espressione che nasce dal porre nulla la derivata prima, calcolata rispetto a t , della relazione seguente:

$$V = V_{IN} - V_{OUT} = S \cdot \varphi \cdot h(t) - Q_{IMP} \cdot t = S \cdot \varphi \cdot \frac{a \cdot t}{(b+t)^c} - Q_{IMP} \cdot t$$

Dove:

$$h(t) = \frac{a \cdot t}{(b+t)^c}$$

esprime la curva di possibilità pluviometrica a tre parametri.

La condizione di massimo si trova annullando la seguente derivata prima:

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\varphi \cdot a \cdot \left[(b+t)^c - t \cdot c \cdot (b+t)^{c-1} \right]}{(b+t)^{2c}} - u_{IMP} = 0$$

Il programma allegato risolve l'espressione precedente numericamente con il metodo della secante (*Regula Falsi*).

I dati in input come anche gli output, *mutatis mutandis*, sono gli stessi del programma con l'espressione della curva di possibilità pluviometrica a due parametri.

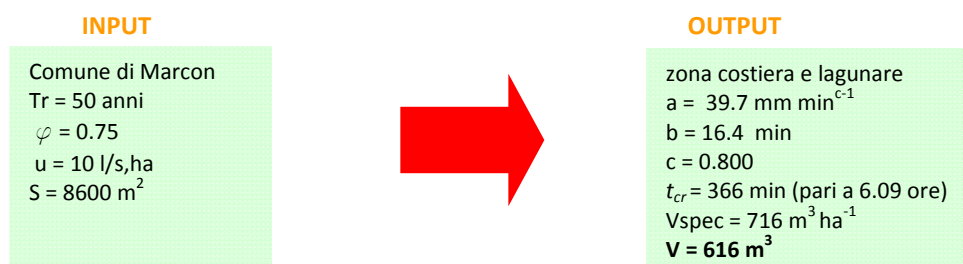
4.2 Esempio numerico – Metodo delle piogge tre parametri

Sia questa volta da calcolare il volume necessario a garantire l'invarianza idraulica per un'area di 8600 m², caratterizzata da un coefficiente d'afflusso $\varphi = 0.75$, situata nel Comune di Marcon.

La portata massima ammessa allo scarico è di 8.6 l/s corrispondente ad un coefficiente udometrico di 10 l/s, ha. Il tempo di ritorno richiesto è 50 anni.

Come nell'esempio precedente si impostano e si assegnano i dati in input; il programma poi restituisce il seguente output:

- zona costiera e lagunare;
- $a = 39.7 \text{ mm min}^{c-1}$, $b = 16.4 \text{ min}$ e $c = 0.800$;
- Il tempo critico $t_{cr} = 366 \text{ min} = 6.09 \text{ h}$;
- volume di invaso specifico $716 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$;
- volume di invaso 616 m^3 .



Per concludere si dimostra come lo stesso risultato possa esser ottenuto mediante l'uso di semplici abachi e tabelle. Il calcolo è ripetuto utilizzando le curve di possibilità pluviometrica a tre parametri perché più rapido e meno complesso (la curva di possibilità pluviometrica è individuata senza ricorsione direttamente dai dati in input: Comune e tempo di ritorno). I risultati sono riportati nelle pagine seguenti.

Post scriptum: A seconda del livello di "protezione Macro" impostato in Excel, i programmi potrebbero richiedere di abilitare l'esecuzione delle macro.

5. Bibliografia

AAVV *Sistemi di fognatura. Manuale di progettazione*, CSDU –HOEPLI, Milano, 1997.

Fiume, A. *Analisi regionalizzata delle precipitazioni per l'individuazione di curve segnalatrici di possibilità pluviometrica di riferimento*, Commissario Delegato per l'emergenza concernente gli eccezionali eventi meteorologici del 26 settembre 2007 che hanno colpito parte del territorio della Regione Veneto. OPCM n. 3621 del 18/10/2007, Venezia, 2009.

Zona costiera e lagunare - Tr = 50 anni			Comuni: Campagna Lupia, Campolongo Maggiore, Camponogara, Casale sul Sile, Casier, Cavallino-Treporti, Chioggia, Dolo, Fiesso d'Artico, Fosso', Marcon, Mira, Mirano, Mogliano Veneto, Pianiga, Quarto d'Altino, Spinea, Stra, Venezia.								
a	39.7	[mm min ⁻¹]									
b	16.4	[min]									
c	0.8	[-]									
VOLUME DI INVASO SPECIFICO [m³/ha] NECESSARIO PER OTTENERE L'INVARIANZA IDRAULICA - METODO DELLE PIOGGE											
φ	Coefficiente udometrico imposto allo scarico [l/s,ha]										
	1	2	4	6	8	10	12	14	16	15	20
0.1	104	84	65	53	45	39	34	30	27	28	21
0.15	175	143	114	97	85	76	68	62	56	59	47
0.2	252	208	168	145	129	117	107	98	91	94	79
0.25	335	277	226	197	177	161	149	138	129	133	114
0.3	421	350	287	252	227	209	194	181	170	175	151
0.35	512	426	350	309	280	259	241	226	213	219	192
0.4	605	505	416	368	336	310	290	273	258	265	234
0.45	702	586	485	430	393	364	341	322	305	313	277
0.5	802	670	555	493	451	419	394	372	354	363	323
0.55	903	755	627	558	511	476	448	424	404	414	370
0.6	1 008	843	700	624	573	534	503	477	455	466	418
0.65	1 114	932	776	692	636	594	560	532	507	519	467
0.7	1 223	1 024	852	762	701	655	618	587	561	574	517
0.75	1 333	1 117	930	832	766	716	677	644	616	629	569
0.8	1 445	1 211	1 010	904	833	779	737	701	671	686	621
0.85	1 559	1 307	1 090	977	900	843	798	760	728	743	674
0.9	1 675	1 404	1 172	1 050	969	908	860	820	785	802	728
0.95	1 793	1 503	1 255	1 125	1 039	974	923	880	843	861	783
1	1 912	1 603	1 339	1 201	1 109	1 041	986	941	902	921	839

Volumi di invaso necessari per ottenere l'invarianza idraulica - Metodo piogge

Valori espressi in funzione del coefficiente di afflusso φ e del coefficiente udometrico imposto u allo scarico

Zona costiera e lagunare - $Tr = 50$ anni (CPP a 3 parametri)

