

## **Componente Acque Superficiali – Allegato 2F**

### **Il modello idrologico distribuito**

Uno dei problemi centrali nella gestione della risorsa idrica è la determinazione dei deflussi in una o più sezioni di un corso d'acqua generati dagli afflussi meteorici al bacino idrografico corrispondente. La conoscenza del meccanismo della trasformazione afflussi-deflussi permette di inferire, a partire da dati meteorologici più facili da reperire e meno incerti, delle conoscenze sui deflussi, che per la loro natura sono spesso più limitate o totalmente assenti (Moisello, 1998).

Nel caso di studio in esame: il bacino dell'Ombrone Pistoiese che comprende il sottobacino del Vincio di Brandeglio, tramite un modello idrologico si è potuto ricostruire la curva di durata delle portate. La conoscenza della curva di durata di un corso d'acqua è di grande utilità quando si devono prendere decisioni sull'utilizzo della risorsa idrica come la concessione di derivazioni o quando si cercano di determinare indici quali il deflusso minimo vitale.

L'applicazione di metodi idrologici tradizionali di carattere empirico o comunque spazialmente aggregato porta ad una eccessiva semplificazione dell'insieme dei processi fisici che intervengono nel ciclo idrologico. Il ciclo idrologico presenta, infatti, una notevole complessità poiché intervengono numerosi processi, spesso non lineari, che a loro volta dipendono da un elevato numero di variabili. Se a tutto ciò aggiungiamo la variabilità spaziale e temporale dei fenomeni, la ricostruzione afflussi-deflussi appare tutt'altro che banale. E' per questo che risulta praticamente impossibile, anche alla luce dei più recenti mezzi di calcolo, la simulazione del comportamento di un bacino idrografico rispettando in maniera rigorosa le leggi fisiche che vi intervengono (Bras, 1990).

Con i modelli esistenti si cerca quindi di trovare un equilibrio tra la semplicità di impiego e la complessità dei fenomeni simulati, schematizzando il bilancio idrologico, mediante le sue componenti principali, definendo uno schema di calcolo per ciascuna e le relazioni che vi intercorrono (Chow, 1988; Borah & Bera, 2003).

Molti studi hanno messo in luce come una impostazione di tipo distribuito, basata sulla descrizione dei processi ad una scala spaziale di maggior dettaglio, sia in grado di offrire, dei risultati migliori (De Roo, 1996). Una modellazione distribuita del processo afflussi-deflussi, mediante la suddivisione del bacino idrografico in celle elementari, risulta quindi più accurata rispetto ad una trattazione aggregata del problema, in quanto dei parametri medi non sono in grado di descrivere la variabilità spaziale di fenomeni non lineari. L'utilizzo di un modello distribuito consente invece una descrizione accurata delle caratteristiche idrologiche del bacino idrografico, permettendo di conservare l'informazione spaziale di variabili come: precipitazione, caratteristiche del suolo e della vegetazione.

## Il bilancio idrologico

La trasformazione afflussi-deflussi è basata sulla rappresentazione della morfologia del territorio mediante un *modello digitale del terreno* (DTM) cioè una rappresentazione digitale delle quote della superficie terrestre, mediante celle di determinata ampiezza nel caso in esame 10 x 10 m. Il modello digitale del terreno permette mediante i moderni GIS – *Geographic Information Systems* di determinare agevolmente le caratteristiche morfologiche dei bacini idrografici (Maidment, 2002). Per ciascuna delle celle viene effettuato il bilancio idrologico relativo alla superficie, allo strato superficiale di suolo e del sottosuolo, secondo schemi basati su serbatoi lineari e a soglia. Per ogni cella vengono calcolati i volumi di deflusso superficiale, infiltrazione, deflusso ipodermico, percolazione, evapotraspirazione e deflusso profondo, secondo uno schema semplificato rispetto a quello già proposto da Becchi et al., (1989), così come riportato in figura 2.F.1.

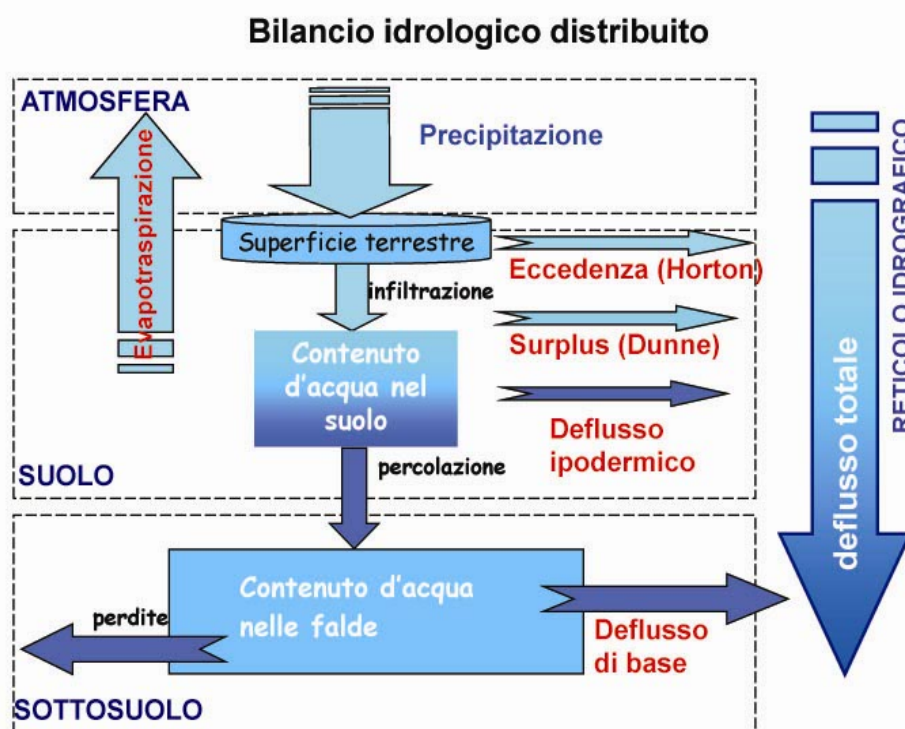


Figura 2.F.1 Schema idrologico di cella del modello a serbatoi lineari per il bilancio idrologico.

Le equazioni del bilancio di massa del bilancio idrologico distribuito sono descritte qui di seguito, indicando con  $W$  il contenuto in acqua del suolo e con  $V$  il contenuto in acqua del sottosuolo.

$$\frac{dW}{dt} = P - (E + R_H + R_D + Q_I + J)$$

$$\frac{dV}{dt} = J - S - Q_b$$

Per quanto concerne le varie componenti del bilancio si riportano qui di seguito gli schemi concettuali ovvero gli algoritmi di calcolo utilizzati.

L'*infiltrazione* è il processo di moto dell'acqua a partire dallo strato superficiale nel mezzo poroso suolo che può essere saturo o non-saturo per mezzo della gravità e della forza capillare. Il *deflusso superficiale* descritto da *Horton* (1933) è dato appunto dal superamento della capacità di infiltrazione massima nel suolo.

Per il calcolo del *deflusso hortoniano* è stato utilizzato il metodo del *Curve Number – CN* (Neitsch, 2002) sviluppato nel 1972 dal *Soil Conservation Service – SCS* degli Stati Uniti.

Tale metodo associa alla precipitazione  $P$  il deflusso superficiale  $Q$  mediante la seguente espressione:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

Dove  $I_a$  indica il valore delle perdite iniziali dovute alle depressioni superficiali, e all'imbibizione del suolo. Questo parametro dipende dalle condizioni del suolo e dall'umidità iniziale del suolo.  $S$  è il valore limite delle perdite per infiltrazione. E' comunque ampiamente accettato di far dipendere  $I_a$  da  $S$  mediante la formula:

$$I_a = 0.2 \cdot S$$

Il parametro  $S$  che rappresenta la quantità d'acqua che il terreno è in grado di assorbire dipende dall'insieme delle condizioni del suolo (uso, trattamento, drenaggio) e dal contenuto di umidità del suolo all'inizio della precipitazione. Le indagini condotte dal SCS (1972) hanno permesso di individuare il legame tra afflusso meteorico e deflusso superficiale sostituendo il parametro  $S$  con un nuovo parametro indicato dalla sigla  $CN$  (*Curve Number*). Tale parametro, adimensionale, è legato ad  $S$  dalla seguente espressione:

$$CN = \frac{1000}{S + 10}$$

I valori di  $CN$  possono variare tra zero ( $S$  uguale ad infinito, assenza di deflusso superficiale) e 100 ( $S$  uguale a zero, assenza di perdite per infiltrazione).

La determinazione del valore di  $CN$  è stata effettuata per mezzo di tabelle proposte in letteratura (Moisello, 1998), che legano il valore del parametro alle caratteristiche del suolo al contenuto di umidità del suolo e alla sua permeabilità.

Il *deflusso superficiale* descritto da *Dunne* è dato dal superamento della capacità massima del contenuto in acqua del suolo ed è tipicamente un valore non lineare a soglia. La sua espressione è:

$$R_D = \begin{cases} 0 \rightarrow se & W < W_{\max} \\ P - (E + R_H + Q_I + J) \rightarrow se & W = W_{\max} \end{cases}$$

Il processo di *percolazione* è anch'esso un processo di moto dell'acqua nel suolo, generalmente in condizioni sature, tra la parte superficiale del suolo e la falda profonda.

$$J = \gamma \cdot W$$

L'evapotraspirazione è il fenomeno per cui l'acqua del suolo e delle piante viene restituita all'atmosfera guidata dai fenomeni convettivi e di calore latente. La stima di tale grandezza idrologica richiede l'introduzione di un valore di evapotraspirazione potenziale da confrontare di volta in volta con la quantità di acqua effettivamente disponibile per l'evaporazione:

$$E = \begin{cases} P - (R_H + R_D + Q_I + J) \rightarrow \text{se } W = 0 \\ E_{pot} \rightarrow \text{se } W > 0 \end{cases}$$

Il valore delle evapotraspirazione potenziale è stata calcolata con la formula empirica di Serra:

$$E_{pot} = 0.9(100 - U_{\%})(1 - \Delta T / 1000) \exp(0.0644T_m)$$

Il deflusso ipodermico è il processo con il quale l'acqua scorre nella parte più superficiale di suolo verso il reticolo idrografico. Il calcolo di tale grandezza è effettuato mediante la formula:

$$Q_i = \beta \cdot W$$

Il deflusso di base è il deflusso che proviene dal contenuto in acqua della falda che avviene mediante attività sorgentizia, risorgive e negli scambi corso d'acqua-falda.

$$Q_b = \alpha \cdot V$$

Infine il deflusso totale si ottiene sommando tutti i contributi di deflusso precedentemente descritti.

$$Q = R_H + R_D + \beta W + \alpha V$$

Per le falde è stato introdotto un termine che tiene conto dello scambio di massa idrica con altri bacini confinanti. Questo termine di difficile determinazione è posto nei modelli di bilancio più semplici pari a zero. Anche nel caso in esame è stato trascurato.

I parametri non noti nel modello che quindi sono da considerarsi di taratura sono:

- $\beta$  = costante di deflusso ipodermico;
- $\gamma$  = costante di percolazione;
- $\alpha$  = costante di deflusso di base.

Nel modello in esame tali parametri sono stati fatti dipendere dalla conducibilità idraulica in condizioni di saturazione  $K_s$ .

Il programma di calcolo per il bilancio idrologico distribuito

Il modello per il bilancio idrologico distribuito, così come descritto nella sezione precedente, è stato implementato con il software Matlab®.

Il programma sviluppato permette la stima di tutte le grandezze idrologiche per ciascuna cella in cui è stato suddiviso il bacino. Il programma inizialmente considera le celle isolate e calcola il bilancio idrologico su ciascuna di esse indipendentemente da quelle circostanti. Dopo aver elaborato il bilancio sulle singole celle i deflussi effettivi, tenendo conto dei contributi provenienti dalle celle a monte, vengono calcolati mediante una funzione di accumulo del deflusso.

Informazioni in ingresso al modello idrologico distribuito

Per quanto riguarda le griglie d'ingresso necessarie per l'esecuzione del bilancio idrologico, esse costituiscono gli strati informativi fondamentali per la stima della condizioni idrologiche del bacino. Di seguito si riporta il sommario delle griglie utilizzate nel bacino in esame:

- *Griglie delle precipitazioni*: si tratta di 12 griglie (una per ogni mese) che riportano l'afflusso meteorico alla scala mensile.
- *Griglie delle temperatura*: sono realizzate sia della media mensile delle temperature massime sia della media mensile delle temperature minime per un totale di 24 griglie.
- *Griglie delle umidità*: si tratta di 12 griglie (una per ogni mese) che riportano il valore medio di umidità in percentuale.
- *Griglia del CN*: si tratta di una singola griglia realizzata sovrapponendo l'informazione della tipologia del suolo con l'uso del suolo.
- *Griglia del  $K_s$* : si tratta di una singola griglia realizzata associando alla geologia del bacino il coefficiente  $K_s$ , utile per ricavare le costanti di taratura del bacino.
- *Griglia del  $W_{max}$* : si tratta di una singola griglia realizzata in base alla pedologia del bacino individuando le diverse tipologie di suolo presenti.

Precipitazioni

Al fine di individuare i deflussi medi mensili si ha bisogno dei valori medi mensili di precipitazione. I dati sono stati resi disponibili dall'Ufficio di Pisa, dell'Area Monitoraggio Idropluviometrico e Mareografico (ex SIMN-Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale) del Dipartimento per le Politiche Territoriali e Ambientali della Regione Toscana, per le stazioni pluviometriche riportate in tabella. Una volta analizzate le serie storiche è stato possibile calcolare le precipitazioni medie mensili rappresentative del bacino idrografico dell'Ombrone Pistoiese.

Tabella 2.F.1 Stazioni pluviometriche utilizzate

Stazioni	UTM E (m)	UTM N (m)	Quota m s.l.m.	n° anni di osservazioni	Primo Anno	Ultimo Anno
Piteccio	652200	4875300	235	62	1916	2000
Cireglio	648715	4873045	630	49	1936	1998
Pistoia_(Frut.)	653937	4866685	65	13	1931	1943
Pistoia_Ospedale	653279	4866237	65	13	1917	1937
Pistoia	653080	4867535	88	52	1922	1998
Prunetta	644745	4874430	958	29	1925	1944
Marliana	642360	4864570	380	69	1921	2002

Tabella 2.F.2 Precipitazione media mensile in mm per ciascuna stazione

Stazioni	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	
Piteccio	145.31	127.15	142.31	126.41	94.87	74.06	
Cireglio	204.21	176.00	157.81	146.47	102.36	82.35	
Pistoia_(Frut.)	131.39	100.51	133.80	108.49	104.31	74.16	
Pistoia_Ospedale	106.69	58.30	133.35	92.47	92.70	48.72	
Pistoia	131.62	123.55	114.39	108.10	78.44	61.28	
Prunetta	173.39	159.95	190.11	154.94	149.31	81.56	
Marliana	135.83	120.64	126.24	119.51	93.62	69.17	
Stazioni	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	totale
Piteccio	41.43	66.30	125.42	171.66	193.40	180.41	1488.73
Cireglio	47.48	81.93	131.34	192.91	226.57	217.46	1766.89
Pistoia_(Frut.)	32.48	51.78	116.23	194.10	164.03	141.82	1353.10
Pistoia_Ospedale	30.58	29.79	79.16	112.12	144.45	114.88	1043.20
Pistoia	39.22	63.44	100.36	142.08	162.56	151.70	1276.75
Prunetta	51.33	72.56	153.16	243.28	267.29	215.81	1912.69
Marliana	40.11	66.29	111.96	157.88	175.84	157.17	1374.27

### Temperature

Per l'analisi delle temperature sono stati utilizzati i dati dell'Ufficio di Pisa, dell'Area Monitoraggio Idropluviometrico e Mareografico della Regione Toscana, delle stazioni di S. Marcello Pistoiese e Pescia poste rispettivamente a 625 e 62 m s.l.m..

Tabella 2.F.3 Caratteristiche delle stazioni termometriche

Stazione	S. Marcello Pistoiese	Pescia
Codice	430	1580
n° anni di osservazioni	18	19
UTM E (m)	643335	635645
UTM N (m)	4879765	4863315
Quota m s.l.m.	625.0	62.0

L'analisi delle serie storiche è stata condotta sia per le medie mensili delle temperature minime sia per le medie mensili delle temperature massime, entrambe necessarie per il calcolo del bilancio idrologico distribuito.

L'analisi ha portato al grafico delle medie mensili qui di seguito riportato (Figura 2.F.2) e ad osservare che la temperatura media mensile registrata nelle due stazioni non risulta estendibile alla scala del bacino idrografico. Si raggiungono infatti, nel bacino idrografico dell'Ombrone Pistoiese, quote anche superiori ai 900 m s.l.m., alle quali le temperature risultano sensibilmente inferiori.

Per tenere conto di quanto sopra evidenziato è stato deciso di scalare le temperatura con la quota introducendo un gradiente termico di  $-0.65\text{ }^{\circ}\text{C}$  ogni 100 m, valido in condizioni di aria umida a saturazione.

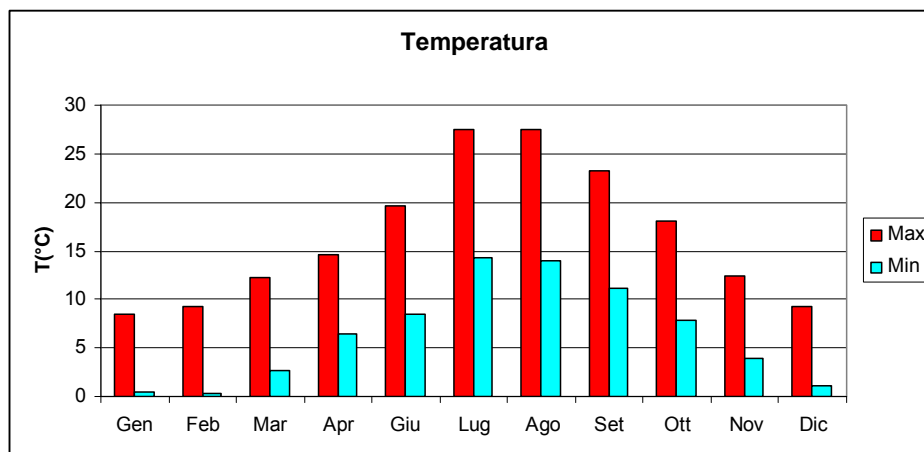


Figura 2.F.2 Andamento delle medie mensili di temperatura massima e minima alla stazione di S. Marcello Pistoiese.

### Umidità

Per quanto riguarda la realizzazione delle griglie di umidità sono state considerate le misure di umidità (espresse in percentuale) registrate, presso le stazioni di Peretola (Firenze) e del Passo Porretta, dal servizio dell'Aeronautica Militare.

E' stata quindi calcolata la media dei valori registrati assegnando lo stesso peso alle due stazioni. In definitiva sono state ottenute 12 griglie costanti ma diverse da mese a mese dove ad ogni cella è associata l'umidità media mensile in percentuale.

Tabella 2.F.4 Valori di umidità medi in percentuale calcolati per il bacino dell'Ombrone Pistoiese

	0.00	6.00	12.00	18.00	MEDIA
<b>GENNAIO</b>	83%	86%	71%	73%	78%
<b>FEBBRAIO</b>	80%	84%	64%	66%	74%
<b>MARZO</b>	78%	85%	58%	62%	71%
<b>APRILE</b>	81%	86%	54%	60%	70%
<b>MAGGIO</b>	82%	87%	51%	58%	70%
<b>GIUGNO</b>	82%	86%	50%	54%	68%
<b>LUGLIO</b>	77%	84%	44%	48%	63%
<b>AGOSTO</b>	79%	88%	46%	51%	66%
<b>SETTEMBRE</b>	82%	88%	52%	60%	71%
<b>OTTOBRE</b>	85%	89%	60%	70%	76%
<b>NOVEMBRE</b>	87%	89%	70%	78%	81%
<b>DICEMBRE</b>	85%	87%	74%	77%	81%

### Griglia del Curve Number

Lo strato informativo o griglia del Curve Number è stata realizzata sovrapponendo lo strato informativo della geologia e quello dell'uso del suolo.

Una volta individuato il tipo di categoria legato alla geologia si è proceduto andando a considerare l'uso del suolo in superficie ed attribuendo a seconda delle tipologie un valore del CN. In particolare ad ogni uso del suolo in superficie corrispondono quattro valori del CN;

per determinare il valore appropriato del CN bisogna considerare appunto il valore di permeabilità del litotipo geologico che va da molto a poco permeabile (A –D). I valori utilizzati sono stati ripresi dalla tabella seguente (Tabella 2.F.5).

Tabella 2.F.5 Valori del Curve Number in base alla geologia e all'uso del suolo

Valori del parametro CN (adimensionale)	← Tipo idrologico Suolo →			
	A	B	C	D
↓ Tipologia di Uso del Territorio				
Coltivazioni, in presenza di pratiche di conservazione del suolo	62	71	78	81
Coltivazioni, in assenza di pratiche di conservazione del suolo	72	81	88	91
Terreno da pascolo: cattive condizioni	68	79	86	89
buone condizioni	39	61	74	80
Boschi, in presenza di copertura rada e senza sottobosco	45	66	77	83
Boschi e foreste, in presenza di copertura fitta e con sottobosco	25	55	70	77
Spazi aperti con manto erboso superiore al 75% dell'area	39	61	74	80
Spazi aperti con manto erboso compreso tra il 50 ed il 75% dell'area	49	69	79	84
Spazi aperti con manto erboso inferiore al 50% dell'area	68	79	86	89
Zone industriali (area impermeabile 72%)	81	88	91	93
Zone commerciali e industriali (area imperm. 85%)	89	92	94	95
Zone residenziali, lotti fino a 500 m <sup>2</sup> (area imperm. 65%)	77	85	90	92
Zone residenziali, lotti di 500+1000 m <sup>2</sup> (area imperm. 38%)	61	75	83	87
Zone residenziali, lotti di 1000+1500 m <sup>2</sup> (area imperm. 30%)	57	72	81	86
Zone residenziali, lotti di 1500+2000 m <sup>2</sup> (area imperm. 25%)	54	70	80	85
Zone residenziali, lotti di 2000+5000 m <sup>2</sup> (area imperm. 20%)	51	68	79	84
Zone residenziali, lotti di 5000+10000 m <sup>2</sup> (area imperm. 12%)	46	65	77	82
Parcheggi, tetti, autostrade, ....	98	98	98	98
Strade pavimentate o asfaltate, dotate di drenaggio	98	98	98	98
Strade con letto in ghiaia	76	85	89	91
Strade battute in terra	72	82	87	89

### Griglia della conducibilità idraulica

La conducibilità idraulica in condizioni di saturazione  $K_s$ , è in natura uno dei parametri caratterizzati dalla maggiore variabilità nello spazio e anche nel tempo, potendo variare tra  $10^{-1}$ -  $10^{-8}$  cm/s pertanto risulta di difficile stima. Nel bilancio idrologico sviluppato è stato pertanto considerato come parametro di taratura del modello.



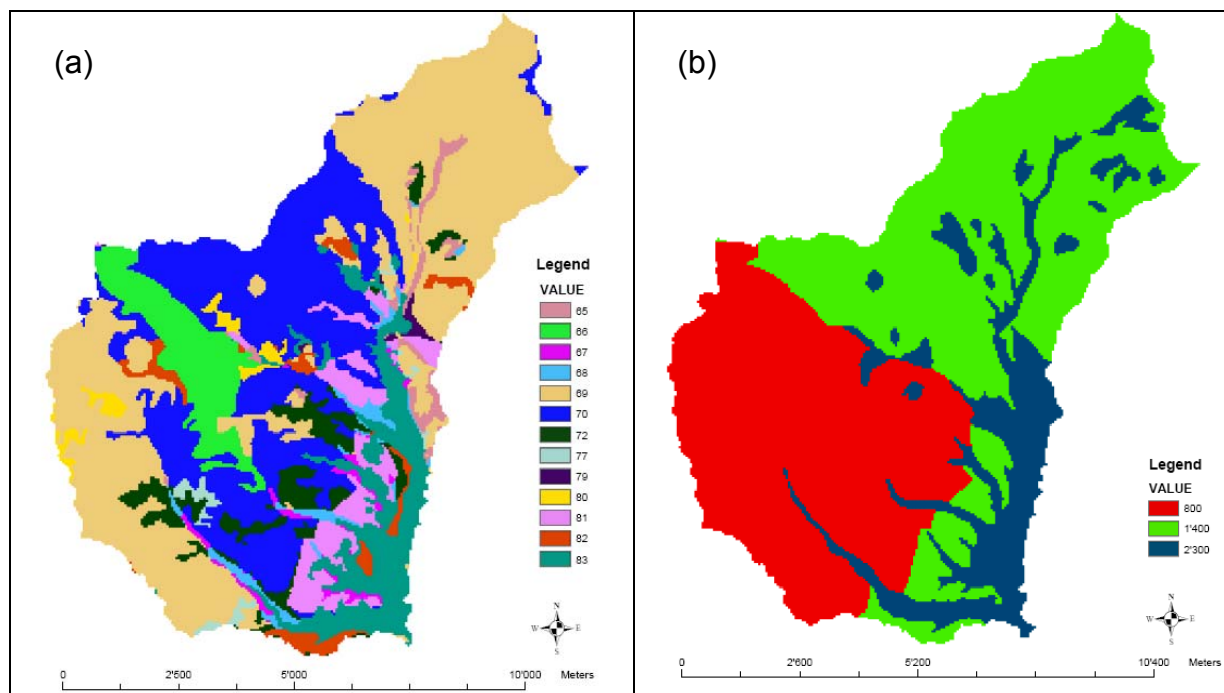


Figura 2.F.3 Griglia del Curve Number (a) e della conducibilità idraulica (b) del bacino idrografico del Fiume Ombrone Pistoiese

Griglia della capacità di ritenuta idrica del suolo

Un aspetto importante nel bilancio idrologico risulta legato alla capacità massima di ritenuta idrica del suolo, ovvero il valore  $W_{max}$ . Questa grandezza regola la quantità di acqua immagazzinabile in superficie e pertanto il tasso di ruscellamento, il suo valore è determinato a partire dalla carta pedologica del bacino.

### Risultati bilancio idrologico distribuito

Una volta preparati i dati in ingresso il modello è in grado di eseguire il bilancio idrologico distribuito. I risultati ottenuti sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 2.F.6 Bilancio idrologico mensile (tutte le misure sono espresse in mm/mese), i valori in **grassetto** indicano le medie annue

	$Q$	$R_H$	$Q_i$	$Q_b$	$R_d$	$E$	$E_{pot}$	$V$	$W$	$P$
<b>Gennaio</b>	117.30	74.78	11.19	5.36	13.68	26.30	26.30	442.72	129.34	157.27
<b>Febbraio</b>	90.01	56.44	11.39	5.43	9.31	31.83	31.83	447.99	129.31	134.79
<b>Marzo</b>	97.00	68.79	11.33	5.50	6.66	42.28	42.28	453.15	127.42	147.19
<b>Aprile</b>	69.11	52.72	11.03	5.57	1.44	53.49	53.95	457.97	120.21	127.80
<b>Maggio</b>	48.34	36.42	10.17	5.63	0.06	64.57	67.30	461.94	99.18	102.24
<b>Giugno</b>	26.68	17.09	7.91	5.68	0.00	80.87	88.95	463.92	55.25	72.96
<b>Luglio</b>	8.52	3.60	3.23	5.69	0.00	64.23	129.41	462.24	2.80	41.84
<b>Agosto</b>	14.54	12.90	0.00	5.64	0.00	51.31	118.05	456.75	0.00	65.98
<b>Settembre</b>	50.02	48.46	0.00	5.56	0.00	69.66	79.85	451.19	2.58	121.80
<b>Ottobre</b>	96.16	94.46	0.22	5.49	0.00	49.71	50.43	445.91	36.61	178.97
<b>Novembre</b>	118.07	111.08	4.04	5.41	0.58	28.98	28.98	443.48	87.81	200.52
<b>Dicembre</b>	132.11	93.43	9.59	5.39	11.53	24.06	24.06	445.30	123.10	181.21
<b>Totale</b>	<b>867.87</b>	<b>670.16</b>	<b>80.10</b>	<b>66.34</b>	<b>43.26</b>	<b>587.28</b>	<b>741.40</b>	<b>452.71</b>	<b>76.13</b>	<b>1532.57</b>

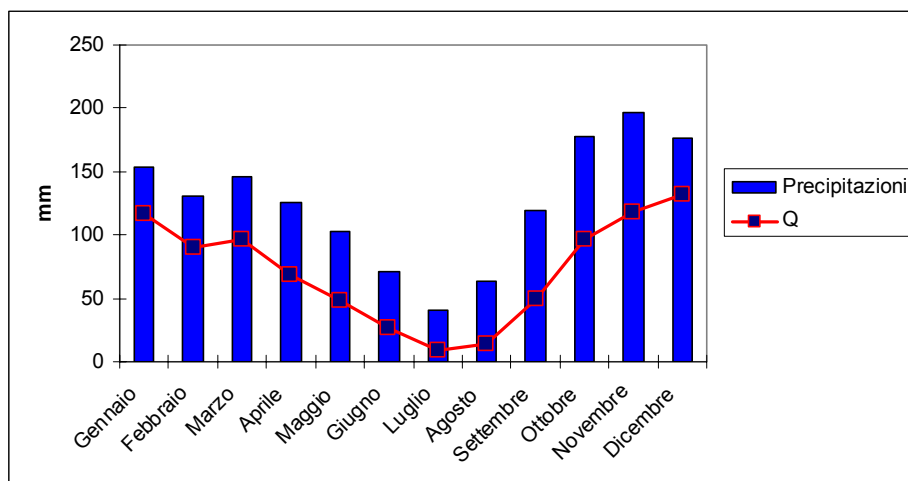


Figura 2.F.4 Andamento annuale afflussi-deflussi per il bacino dell' Ombrone Pistoiese

Nelle figure seguenti sono riportate le griglie dei valori medi annui di alcune delle grandezze idrologiche stimate mediante il bilancio idrologico distribuito per il bacino dell’Ombrone Pistoiese.

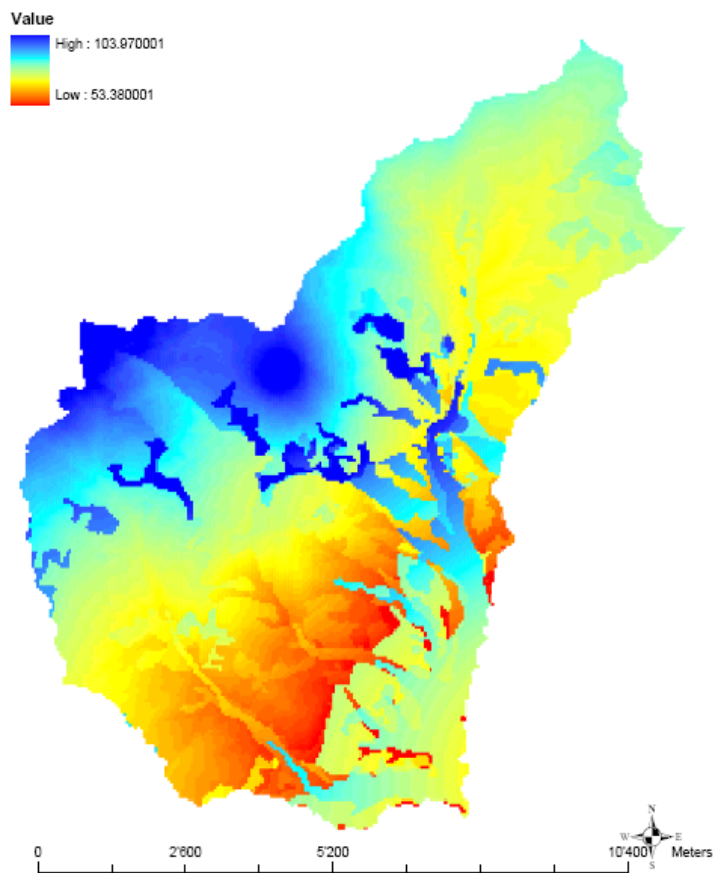


Figura 2.F.5 Griglia portata media annua in mm

Tramite il bilancio idrologico si forniscono, come risultati, i grafici di ogni singola variabile e mensilità. Una volta ricavate le griglie dei deflussi cella per cella, per ottenere i deflussi reali è necessario cumularli in funzione dei rapporti topologici delle celle. Considerando in ciascun punto quelle contribuenti.

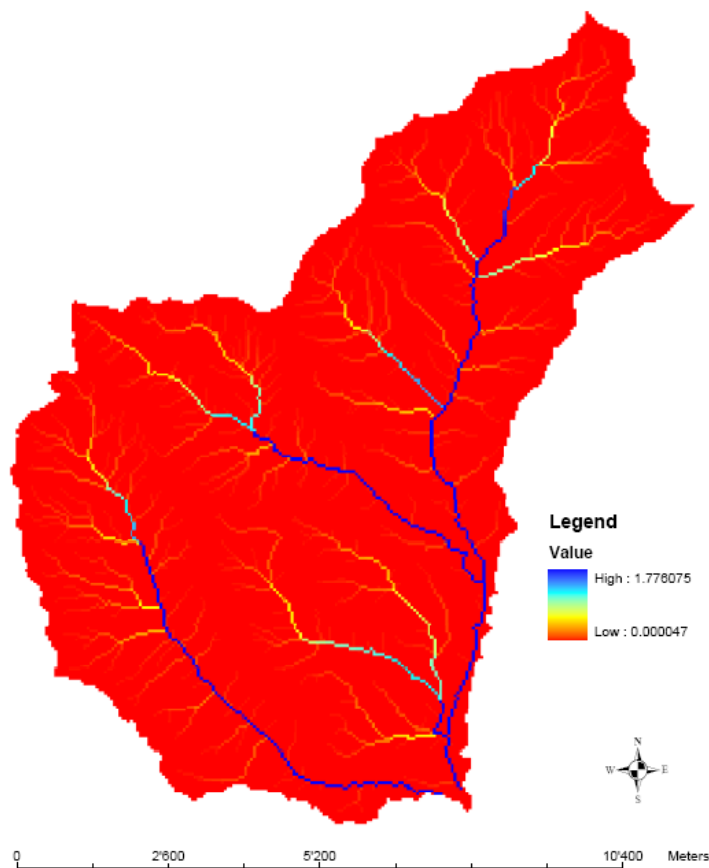


Figura 2.F.6 Griglia dei deflussi cumulati medi annui espressi in m<sup>3</sup>/s

**Curva di durata delle portate**

In assenza di dati di portata, la curva di durata delle portate è stata ricostruita per via indiretta, utilizzando i risultati del bilancio idrologico e un approccio probabilistico nella ricostruzione delle portate per le basse durate. In particolare: la curva di durata è stata ottenuta come media della curva di durata ricavata utilizzando le portate medie mensili risultanti dal bilancio idrologico e la curva di durata risultata dal seguente modello esponenziale per la stima della probabilità di superamento della generica portata  $Q$ .

$$P(Q > q) = \frac{\beta_q}{\alpha_q} \exp\left(-\frac{d}{\alpha_q} \cdot \left(\frac{q}{S} + K_s\right)\right)$$

dove  $\beta_q$  è la precipitazione media giornaliera,  $\alpha_q$  è la precipitazione media in un giorno piovoso e  $d$  è la durata media della pioggia in un giorno piovoso.

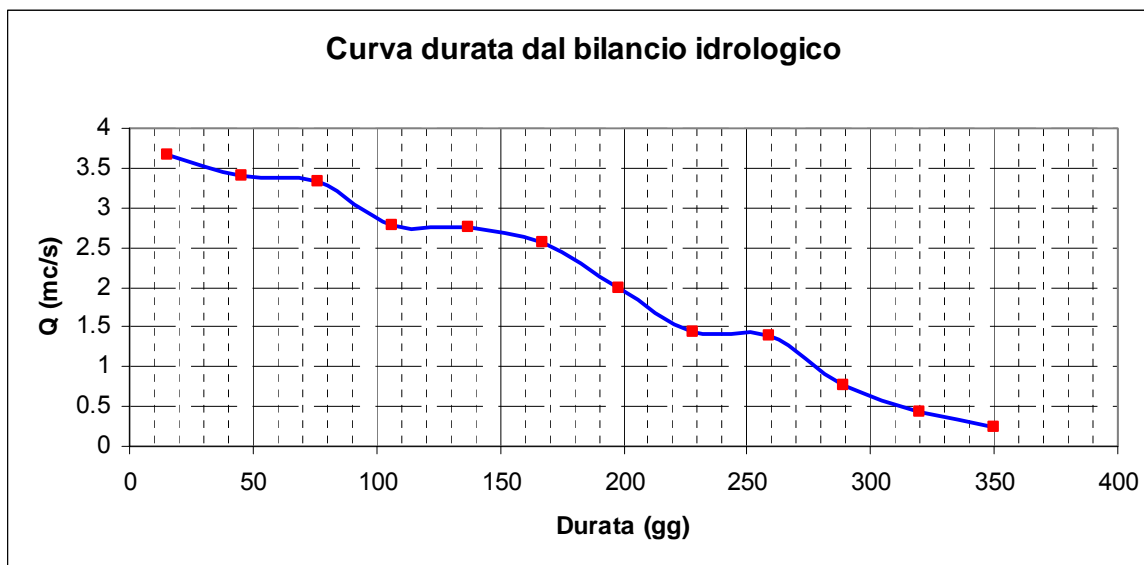


Figura 2.F.7 Curva di durata ricostruita con il modello idrologico distribuito.

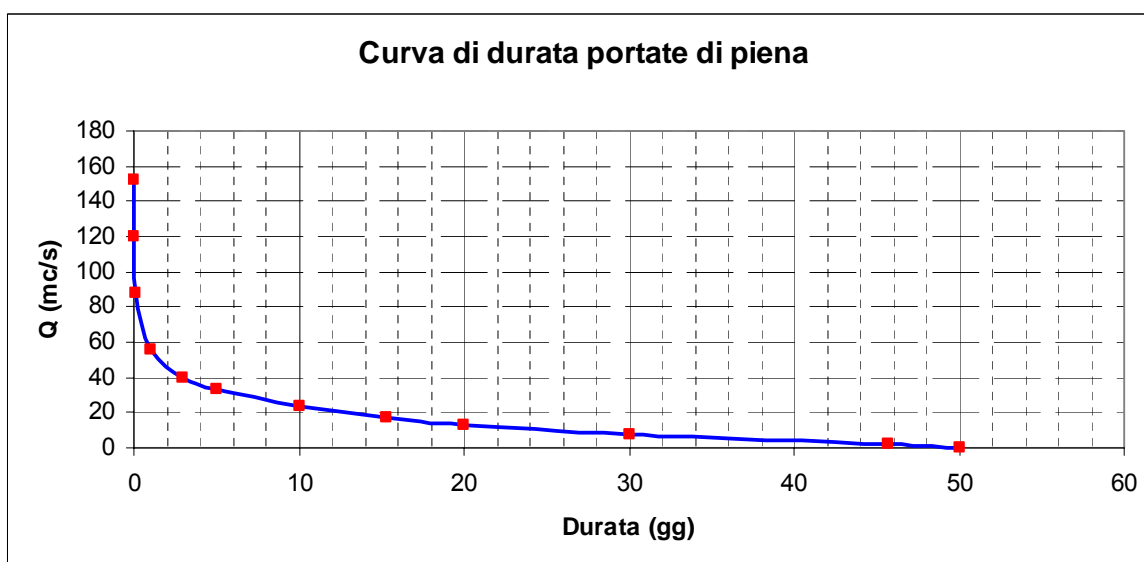


Figura 2.F.8 Curva di durata stimata con un modello probabilistico esponenziale a due parametri

Occorre tuttavia controllare che il volume della curva di durata delle portate ottenuta mediante l’approccio probabilistico corrisponda al volume di deflusso complessivo calcolato con il bilancio idrologico, se così non fosse tale curva deve essere opportunamente scalata. Ultimo passaggio è quello di fare la media pesata delle due curve (nel caso in esame è stato assegnato alle due curve lo stesso peso). I risultati ottenuti sono riportati nella figura e nella tabella seguenti.

Tabella 2.F.7 Valori della curva di durata

durata(gg)	Q(m <sup>3</sup> /s)
0.001	82.22
0.01	64.78
0.10	47.34
1.00	29.90
3.00	21.58
5.00	17.71
10.00	12.46
15.31	11.16
20.00	9.12
30.00	6.02
45.74	2.79
50.00	2.11
76.17	1.84
106.60	1.57
137.03	1.56
167.46	1.51
197.89	1.19
228.32	0.87
258.75	0.85
289.18	0.52
319.61	0.31
350.04	0.22



Figura 2.F.9 Curva di durata in grafico semilogaritmico

Curve di durata per il bacino del Vincio di Brandeglio alla sezione di chiusura e all'opera di presa per l'invaso della Giudea

Utilizzando i risultati del modello idrologico ottenuti per il bacino idrografico dell'Ombrone Pistoiese sono stati definiti i bilanci idrologici e le curve di durata anche per i bacini idrografici del torrente Vincio di Brandeglio alla confluenza con l'Ombrone Pistoiese e alla presa per l'invaso della Giudea.

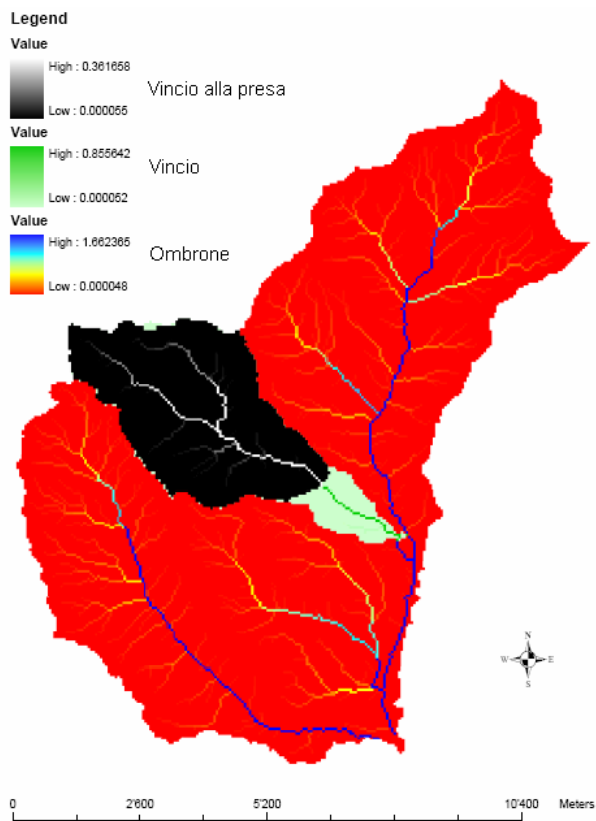


Figura 2.F.10 Informazioni sui bacini del Vincio di Brandeglio alla confluenze con l'Ombrone Pistoiese e all'opera di presa per l'invaso della Giudea.

Sono di seguito riportati i grafici delle curve di durata delle portate calcolate dal modello per i bacini del Vincio di Brandeglio alla chiusura e alla presa.

Vincio di Brandeglio alla confluenza con l’Ombrone Pistoiese

Tabella 2.F.8 Valori della curva di durata

Vincio chiusura modello	
durata(gg)	Q(m <sup>3</sup> /s)
0.001	12.813
0.01	10.107
0.1	7.4018
1	4.6963
3	3.4054
5	2.8052
10	1.9908
15.305	1.8284
20	1.5087
30	1.0213
45.735	0.50932
50	0.40407
76.165	0.30151
106.6	0.24073
137.03	0.23928
167.46	0.23301
197.88	0.17464
228.32	0.11916
258.75	0.11482
289.18	0.063679
319.61	0.021226
350.04	0.003666

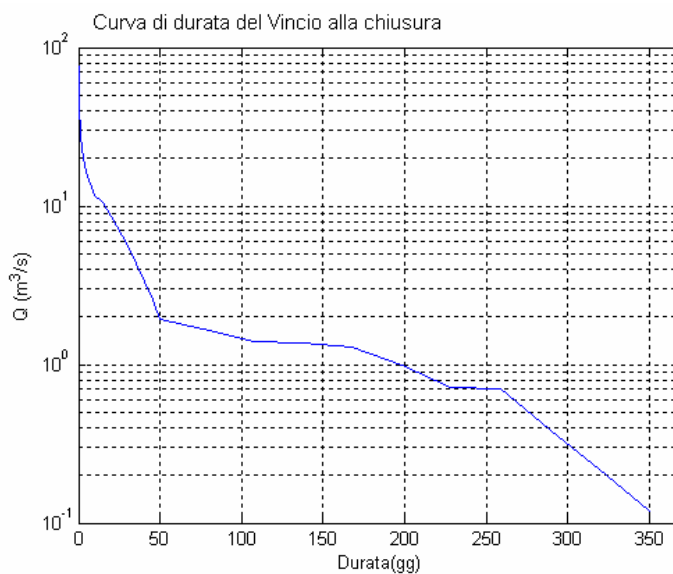


Figura 2.F.11 Curva di durata in grafico semilogaritmico



Vincio di Brandeglio alla presa dell’invaso

Tabella 2.F.9 Valori della curva di durata

Vincio alla presa modello	
durata(gg)	Q(m <sup>3</sup> /s)
0.001	10.849
0.01	8.5663
0.1	6.2832
1	4.0001
3	2.9108
5	2.4042
10	1.717
15.305	1.5925
20	1.3225
30	0.91079
45.735	0.47814
50	0.38933
76.165	0.26563
106.6	0.21208
137.03	0.2108
167.46	0.20528
197.88	0.15385
228.32	0.10498
258.75	0.10115
289.18	0.0561
319.61	0.0187
350.04	0.00323

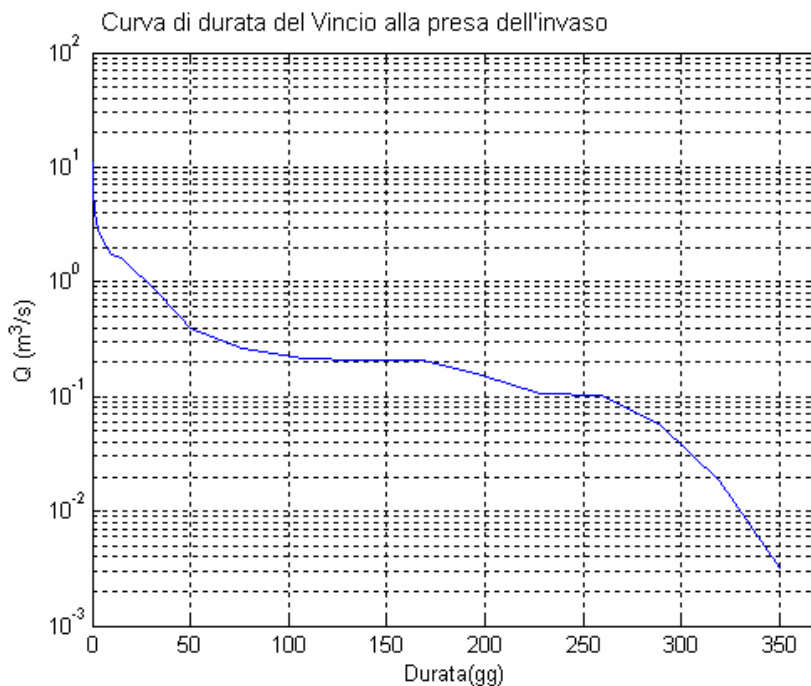


Figura 2.F.12 Curva di durata in grafico semilogaritmico

Validazione dei risultati e commenti

I risultati ottenuti dal bilancio idrologico sono stati poi confrontati con le curve di durata delle portate fornite dall’Autorità di Bacino dell’Arno, in particolare per il bacino idrografico dell’Ombrone Pistoiese, tale curva è servita anche per la calibrazione del modello.

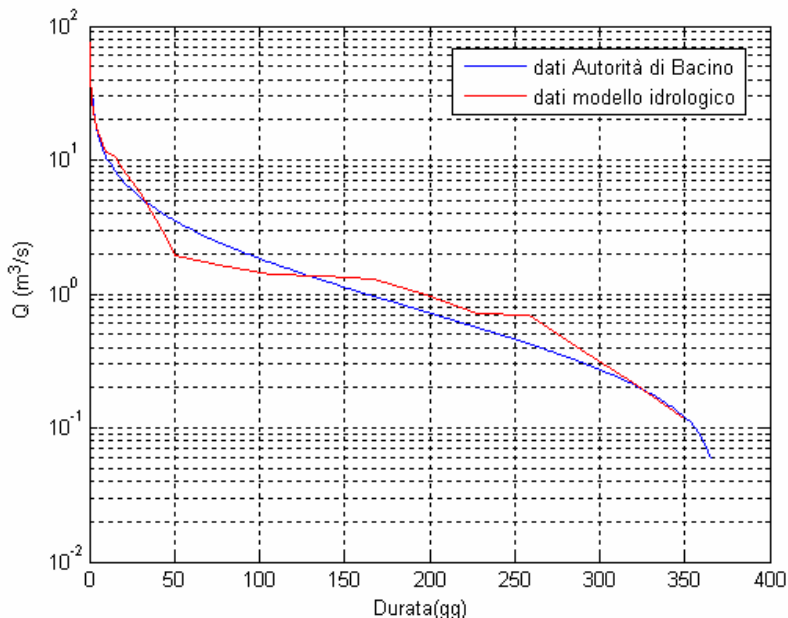


Figura 2.F.13 Curva di durata dell’Ombrone Pistoiese a Pontelungo

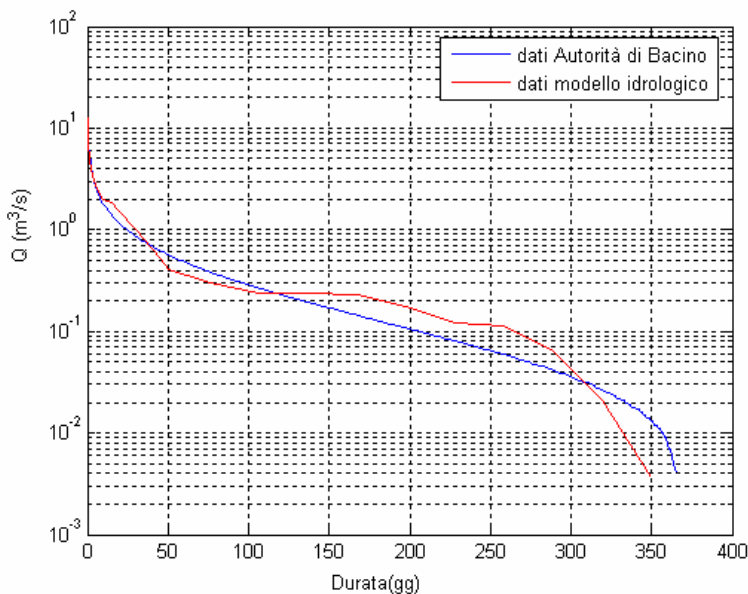


Figura 2.F.14 Curva di durata del Vincio alla chiusura

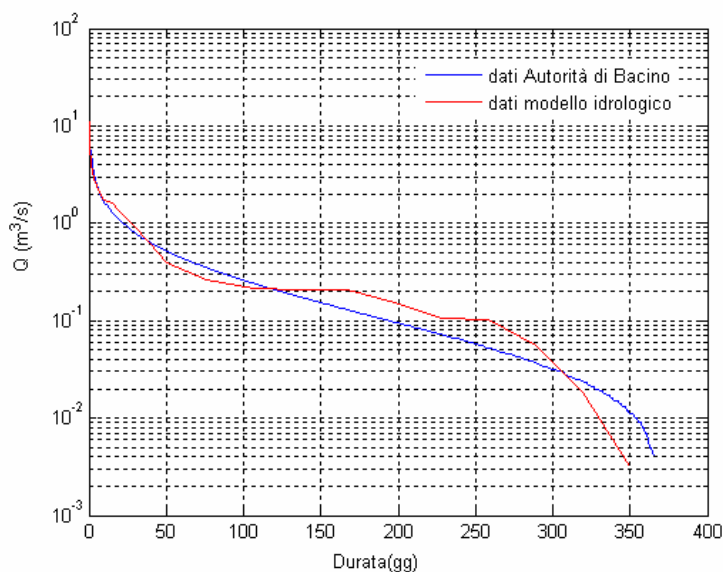


Figura 2.F.15 Curva di durata del Vinci alla presa

Dalla comparazione emerge globalmente un buon risultato del modello che nonostante la semplicità nella schematizzazione delle componenti del bilancio idrologico, riesce a fornire delle curve di durata molto simili a quelle dell’Autorità di Bacino.

Il modello probabilmente sovrastima leggermente i volumi totali di deflusso, tendendo a sovrastimare il deflusso di base. Deve comunque essere sottolineato che anche le curve di durata ricavate dall’autorità di bacino provengono da stime e non da misurazioni dirette, presentando quindi delle incertezze. La bontà e l’utilità dell’approccio distribuito è dimostrata dal fatto che le curve di durata in altre due sezioni del bacino, ossia l’opera di presa nel Vinci di Brandeglio e la confluenza del Vinci sull’Ombrone sono dei risultati impliciti del modello. Confrontate con i valori dell’AdB, anche queste curve riescono a riprodurre decisamente bene i deflussi nelle sezioni di chiusura. Pertanto la modellazione effettuata è in grado di riprodurre il comportamento idrologico del bacino idrografico del fiume Ombrone ed è di notevole utilità nella pianificazione della gestione della risorsa idrica.

L’approccio utilizzato è per di più di carattere completamente generale e può essere applicato in altri contesti, con la cautela di calibrare il modello mediante misurazioni, o in assenza mediante considerazioni legate al comportamento di corsi d’acqua con analoghe caratteristiche.

## Riferimenti Bibliografici

- Becchi, I., Caporali E., Federici G., & Palmisano E., (1989). Un modello distribuito per lo studio del bacino dell’Arno: Analisi idrologica della Sieve. *Acqua e Aria*, 10, 1129:1144.
- Bras, R.L., (1990). *Hydrology, an introduction to hydrologic science*, Addison-wesley publishing company.
- Borah, D.K., and M. Bera, (2003). Watershed-scale Hydrologic and nonpoint-source pollution models: review of mathematical bases. *Transactions of the ASAE: American Society of Agricultural Engineers*, 46 (6), 1553:1566.
- Chow V. T., D.R. Maidment, e L.W. Mays, (1988). *Applied hydrology*. New York: McGraw-Hill.
- De Roo, A.P.J., C.G. Wesseling, & C.J. Ritsema, (1996). LISEM: a single-event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins: I: Theory, input and output. *Hydrological Processes* 10, 1107:1117.
- Horton, R.E., (1933). The role of infiltration in the hydrological cycle. *Transactions of the American Geophysical Union*, 14, 446:460
- Maidment, D., (2002). *Arc Hydro: GIS for Water Resources*, ESRI Press.
- Moisello U., (1998). *Idrologia tecnica*. La Goliardica Pavese, Pavia.
- Neitsch, S.L., J.G. Arnold, J.R. Kiniry, J.R. Williams, K.W. King, (2002). *Soil and Water Assessment Tool, Theoretical Documentation, Version 2000*. Texas Water Resources Institute, College Station, Texas.
- Soil Conservation Service, (1972). *National Engineering Handbook*, section 4, Hydrology, U.S. Dept. of Agriculture, Washington D.C..