

GIAN CARLO PEROSINO*

Il Grana a Monterosso

ABSTRACT - *The Grana river in Monterosso (NW Piedmont).*

The protection and management of water resources requires a good knowledge of the quantity and quality of surface waters. For this reason hydrological studies at basin level are very important. This paper proposes the hydrology of the basin of Grana (right tributary of the Maira, which flows into the river Po in the province of Cuneo) at the hydrometric station of Monterosso (710 m asl). The analysis focused on a set of data (meteoric inflow and river flow rate) representative of an observation interval of 55 years, among the longest among those available for the hydrometric stations in Piedmont.

The processing of the data provided synthetic values useful for the assessment of water availability for any portion of the entire hydric basin. Above all, care has been taken to situations of low water since, during the summer, long stretches of the river remain completely dried up due to diversions for irrigation purposes.

KEY WORDS - Hydrological regime, water crisis, water management.

RIASSUNTO - La tutela e la gestione delle risorse idriche richiede una buona conoscenza dello stato qualitativo e quantitativo delle acque superficiali. Per tale motivo sono importanti gli studi idrologici su scala di bacino. In questo contributo si propone l'idrologia del bacino del Grana (affluente di destra del Maira che, a sua volta sfocia nel fiume Po nel territorio cuneese) alla stazione idrometrica di Monterosso (710 m s.l.m.). L'analisi ha riguardato un insieme di dati (afflussi meteorici e portate) rappresentativi di un intervallo di osservazione di 55 anni, tra i più lunghi tra quelli disponibili per le stazioni idrometriche piemontesi.

Le elaborazioni dei dati hanno fornito valori sintetici utili per la valutazione delle disponibilità idriche per qualunque porzione dell'intero bacino. Soprattutto

* C.R.E.S.T., Centro Ricerche in Ecologia e Scienze del Territorio, via Caprera 15, 10136 Torino

si è posta attenzione alle situazioni di magra idrologica, in occasione delle quali, in estate, risultano lunghi tratti del corso d'acqua completamente prosciugati a causa delle derivazioni per fini irrigui.

INTRODUZIONE

La gestione delle risorse idriche è uno dei temi più importanti nell'ambito dei processi pianificatori connessi alla tutela dei beni naturali e alla loro conservazione e valorizzazione per le generazioni future e costituisce l'argomento prioritario della 2000/60/CE (Direttiva Quadro sulle Acque - DQA - *che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque*). Ma la gestione comporta soprattutto una adeguata conoscenza dello stato quantitativo delle acque, in particolare di quelle superficiali (bacini e corsi d'acqua) più facilmente utilizzabili per fini diversi, ma anche quelle maggiormente sottoposte a degrado.

Sulle pagine di questa rivista sono già stati pubblicati alcuni contributi relativi ai bacini del Cervo (Perosino & Scarpinato, 1982), dell'Orco (Perosino, 1997) e dello Stura di Lanzo (Perosino, 2006). Nel presente lavoro si propone l'analisi idrologica del torrente Grana (tributario di destra del Maira) alla stazione idrometrica di Monterosso (710 m s.l.m.; fig. 1).

L'interesse per tale stazione deriva dall'ampio periodo di osservazione disponibile, tra i più lunghi nel territorio piemontese e non solo. Infatti sono disponibili dati riguardanti le rilevazioni idrometriche dal 1934 al 1973 e dal 1975 al 1979 a cura del Servizio Idrografico Italiano (1934 - 1979) e dal 2002 al 2012 (con la sola interruzione nel 2008) a cura dell'ARPA-Piemonte (cfr. sito web), quindi un intervallo di osservazione complessivo di ben 55 anni.

Il bacino del Grana è compreso nelle Alpi Cozie (provincia di Cuneo), delimitato a Nord e Nord/Ovest da quello del Maira e a Sud dal bacino del Varaita e sfocia nel Maira stesso alla quota di 316 m s.l.m., dopo un percorso di quasi 50 km da Monterosso. Nel suo complesso è un bacino stretto e allungato con altitudine massima, presso la sua testata, di 2.647 m s.l.m., con una superficie totale di 316 km² e un'altitudine media¹ di 860 m s.l.m. La sezione della stazione idrometrica di Monterosso sottende un bacino di 102 km², poco meno di un terzo dell'area totale e quindi rappresen-

¹ Intesa come altezza del rettangolo equivalente all'area sottesa dalla curva ipsografica del bacino alla sezione idrologica in studio (Strahler, 1952, 1968).

tativa soprattutto della sua porzione montana (altitudine media di 1.540 m s.l.m.). Tra gli scopi del presente lavoro è anche l'individuazione di un modello di regionalizzazione idrologica utilizzabile per l'intero bacino.

AFFLUSSI METEORICI

La fig. 1 illustra la distribuzione delle precipitazioni areali medie annue mediante isoiete dedotta dalla cartografia allegata ad una pubblicazione di Forneris *et al.* (2012), redatta sulla base dei dati pubblicati dalla Regione Piemonte (1980) e confrontata con le cartografie climatiche piemontesi disponibili (Regione Piemonte, 1992, 1998, 2009).

Dall'andamento delle isoiete tracciate per ogni anno e per mese sulla base dei valori registrati alle stazioni pluviometriche si ottiene l'afflusso meteorico o precipitazione areale, cioè l'altezza [mm] del volume d'acqua "V" [10^6 m^3] in entrata e uniformemente distribuito sulla superficie del bacino sotteso alla sezione della stazione idrometrica. Per quanto attiene l'afflusso

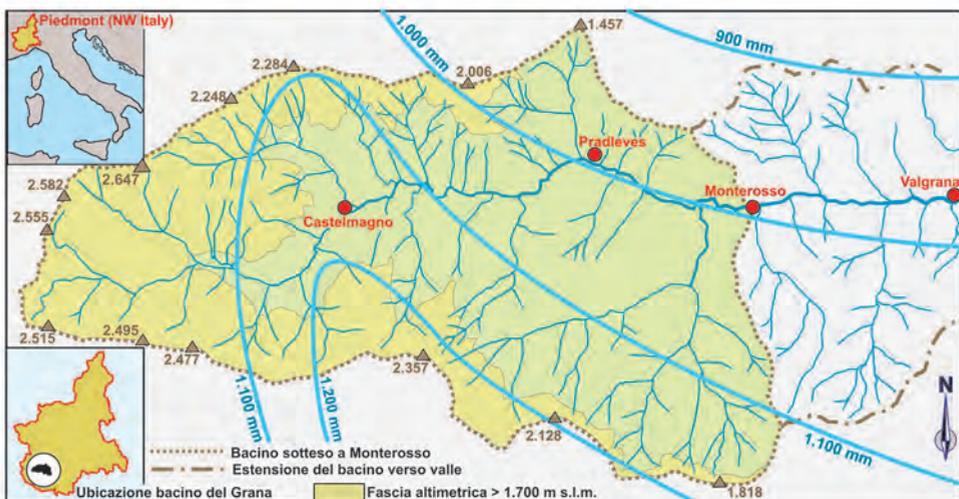


Fig. 1 - Bacino del Grana (102 km²; altitudine media di 1.540 m s.l.m.) sotteso alla sezione di Monterosso (710 m s.l.m.), con rappresentazione della distribuzione delle isoiete medie annue secondo Forneris *et al.* (2012). La porzione del bacino superiore all'altitudine di 1.700 m s.l.m. (limite climatico dello zero termico invernale secondo Durio *et al.*, 1982) supera il 30%.

meteorico annuo “ Ay_m ” del bacino in oggetto, nello schema seguente sono riportati i valori più significativi su scala annua, mentre la fig. 2 illustra, per il periodo di osservazione succitato di $n = 55$ anni, la correlazione tra i valori annuali e la loro frequenza². In tab. 1 sono riportati gli stessi valori, ma su scala di tempo mensile “ Am ” [mm] per l’analisi del regime pluviometrico del bacino.

- Afflusso meteorico annuo massimo (1959) $Ay_{max} = 1.903$ mm ($Vy_{max} = 194 \cdot 10^6$ m³);
- Correlazione “ Ay ” con frequenza “ F ”: $Ay = 1644 - 992 \cdot F$ ($R^2 = 0,97$; fig. 2);
- Afflusso meteorico dell’anno pluviometrico abbondante ($F = 0,2$; $Tr = 5$ anni) $Ay_{F20} = 1.456$ mm ($Vy_{F20} 149 \cdot 10^6$ m³);
- Afflusso meteorico medio annuo $Ay_{med} = 1.148$ mm ($Vy_{med} = 117 \cdot 10^6$ m³);
- Deviazione standard “ s ” percentuale = 25 %;
- Percentuale numero “ N ” anni $(Ay_{med} - s) < N < (Ay_{med} + s) = 65\%$;
- Percentuale numero “ N ” anni $(Ay_{med} - 2s) < N < (Ay_{med} + 2s) = 98\%$;
- Percentuale numero “ N ” anni $(Ay_{med} - 3s) < N < (Ay_{med} + 3s) = 100\%$;
- Percentuale numero “ N ” anni $> Ay_{med} = 50\%$;
- Percentuale numero “ N ” anni $< Ay_{med} = 50\%$;
- Afflusso meteorico dell’anno pluviometrico scarso ($F = 0,8$; $Tr = 1,25$ anni) $Ay_{F80} = 850$ mm ($Vy_{F80} = 87 \cdot 10^6$ m³);
- Afflusso meteorico annuo minimo (1950) $Ay_{min} = 605$ mm ($Vy_{min} = 62 \cdot 10^6$ m³).

² Disponendo di una serie di “ n ” dati (in questo caso nel periodo di $n = 55$ anni di osservazione) $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, ordinati in senso decrescente e indicando con “ m ” la posizione di ciascun dato ($m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$) si può definire il tempo di ritorno “ Tr ” come l’intervallo medio (in anni) che intercorre tra due eventi uguali o inferiori ad un dato valore di portata che occupa la posizione “ m ” della serie di “ n ” dati ordinati in senso crescente:

$$Tr = \frac{n + 1}{m}$$

L’inverso di “ Tr ” è la frequenza “ F ”, cioè la probabilità con la quale ogni anno può verificarsi un evento di entità pari o inferiore ad un determinato valore. Il dato con $m = 1$ corrisponde al valore massimo del Tr ($n+1$). Il dato con $m = 1/5$ corrisponde a $F = 0,2$, caratterizzato da una frequenza di superamento del 20%. Il dato con $m = 4/5$ corrisponde a $F = 0,8$. Il dato con $m = n$ corrisponde al valore minimo del $Tr = 1,02$ (è il minimo storico uguagliato o superato ogni anno).

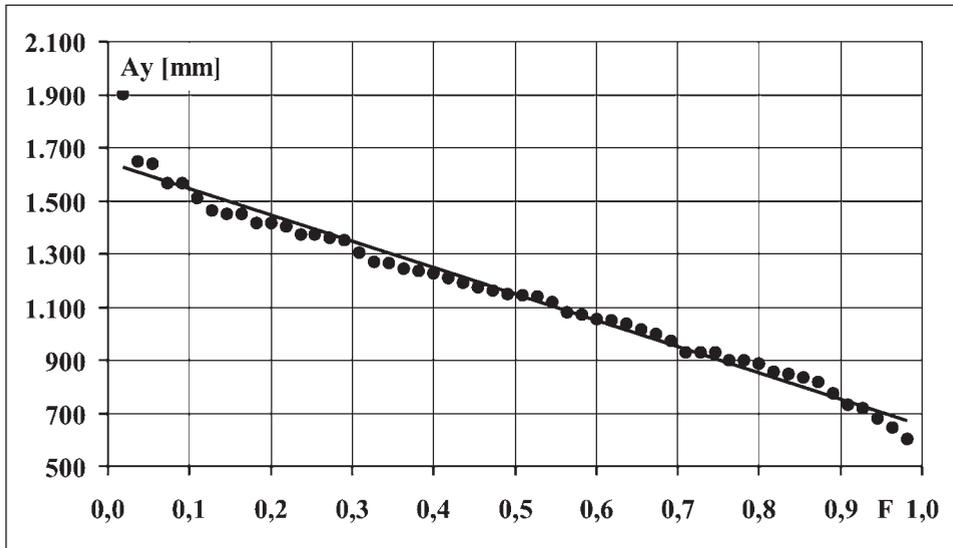


Fig. 2 - Stazione idrometrica di Monterosso sul Grana (710 m s.l.m.). Correlazione tra i valori annui degli afflussi meteorici “Ay” [mm] e la loro frequenza “F”. Periodo di osservazione 1934 ÷ 1973, 1974 ÷ 1979, 2002 ÷ 2007, 2009 ÷ 2012 (55 anni).

L'afflusso meteorico medio annuo è pari a $Ay_{med} = 1.148$ mm che può essere confrontato con i seguenti valori significativi:

- 970 mm per l'Italia (Contessini, 1956);
- 760 mm per la pianura padana (Mennella, 1967);
- 1.197 mm per il Piemonte (Mennella, 1967);
- 1.500 mm per la regione alpina (Mennella, 1967);
- 808 mm per Torino (Perosino, 1987).

Il rapporto tra i valori assoluti massimo (1903 mm nel 1959) e minimo (605 mm nel 1950) è pari a 3,1 inferiore al limite di quattro individuato da Remenieras (1972) come indice al di sopra del quale il clima di una località può definirsi di tipo francamente continentale.

La distribuzione delle precipitazioni nell'anno (tab. 1) è illustrata in fig. 3 dove è raffigurato il regime degli afflussi meteorici medi mensili (Am_{med}), insieme alla ripartizione percentuale dei massimi (Am_{max-y}) e dei minimi (Am_{min-y}) annuali.

Tab. 1 - Regime degli afflussi meteorici mensili (Am) sul bacino del Grana sotteso a Monterosso (710 m s.l.m.). Valori massimi assoluti (Am_{max}), dell'anno pluviometrico abbondante (AmF20) medi (Am_{med}), dell'anno pluviometrico scarso (AmF80) e minimi assoluti (Am_{min-y}). Distribuzioni percentuali dei massimi ($N Am_{max-y}$) e dei minimi ($N Am_{min-y}$) annuali. Deviazione standard (s). Numero percentuale di casi con valori superiori ($N > Am_{med}$) e inferiori ($N < Am_{med}$) alla media. Periodo di osservazione 1934 ÷ 1973, 1974 ÷ 1979, 2002 ÷ 2007, 2009 ÷ 2012 (55 anni).

Parametri		gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Am_{max}	mm	374	268	235	356	399	269	245	167	265	369	332	307
AmF20	mm	79	83	117	152	188	137	76	94	122	169	138	100
Am_{med}	mm	62	65	92	120	148	108	60	74	97	134	109	79
	%	5	6	8	10	13	9	5	6	8	12	9	7
$N Am_{max-y}$	%	2	2	4	9	26	9	0	2	6	24	11	6
$N Am_{min-y}$	%	26	13	6	4	2	4	9	7	2	9	9	9
s	mm	65	54	69	72	95	59	41	42	68	91	81	60
	%	105	82	75	60	64	54	69	56	70	68	75	76
$(Am_{med}-1s) < N < (Am_{med}+1s)$	%	87	74	63	72	61	87	78	83	72	80	78	85
$(Am_{med}-2s) < N < (Am_{med}+2s)$	%	96	94	94	96	94	94	96	98	96	94	96	94
$(Am_{med}-2s) < N < (Am_{med}+2s)$	%	98	98	100	98	100	100	98	100	100	100	100	98
$N > Am_{med}$	%	46	39	37	41	46	50	39	50	37	43	37	43
$N < Am_{med}$	%	54	61	63	59	54	50	61	50	63	57	63	57
AmF80	mm	46	48	68	89	110	80	44	55	71	99	81	58
Am_{min}	mm	0	1	0	0	29	15	7	9	0	2	2	1

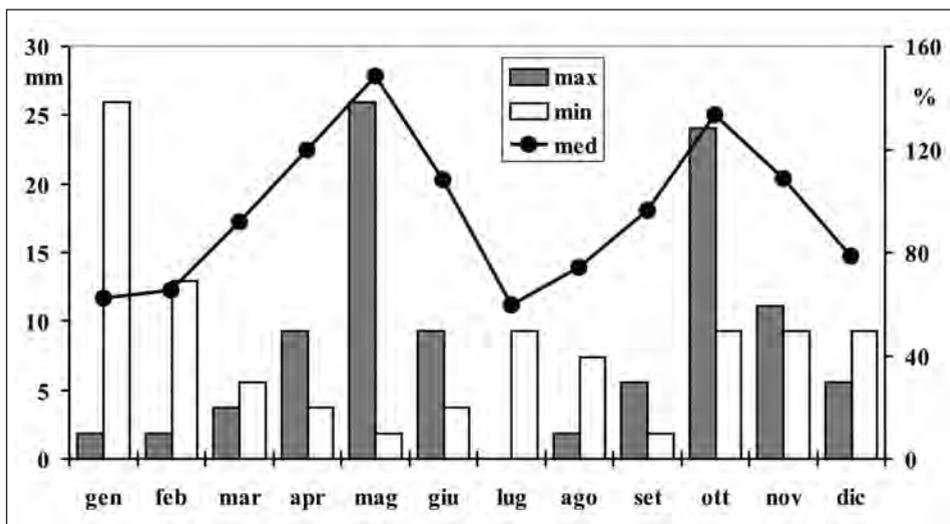


Fig. 3 - Regime degli afflussi meteorici medi mensili (Am_{med}) e distribuzioni percentuali dei valori massimi (Am_{max-y}) e dei minimi (Am_{min-y}) annuali. Bacino del Grana (102 km²) sotteso a Monterosso (710 m s.l.m.) Periodo di osservazione 1934 ÷ 1973, 1974 ÷ 1979, 2002 ÷ 2007, 2009 ÷ 2012 (55 anni).

Risultano due massimi, di cui il principale (quello primaverile, maggio con 148 mm) è leggermente superiore al secondario (quello autunnale, ottobre con 134 mm) e due minimi quasi equivalenti, invernale (con 62 mm in gennaio) ed estivo (con 60 mm il luglio). Ciò non significa che in tutti gli anni, per esempio, maggio è il mese più piovoso; nel periodo di osservazione considerato ciò si è verificato nel 26% dei casi (24% per ottobre). In alcuni anni tali mesi hanno registrato i valori minimi delle precipitazioni (2% per maggio e 9% per ottobre). La distribuzione dei massimi e dei minimi sopra descritta permette, secondo quanto proposto dal Mennella (1967), di classificare il regime pluviometrico in oggetto come “*sub-litoraneo padano*”.

REGIME IDROLOGICO

La portata media annua è pari a $2,68 \text{ m}^3/\text{s}$ ($26,3 \text{ L/s/km}^2$). La deviazione standard rispetto alla media del periodo è risultata di $0,92 \text{ m}^3/\text{s}$ (34%), con una distribuzione della popolazione dei dati vicina a quella normale e con oscillazioni fra il massimo e minimo assoluto rispettivamente di $4,76 \text{ m}^3/\text{s}$ (nel 1960) e di $1,28 \text{ m}^3/\text{s}$ (nel 2006). La portata massima assoluta istantanea è risultata pari a $219 \text{ m}^3/\text{s}$ (03/05/1959), mentre la minima è risultata di $0,30$ (dicembre 2011), nove volte inferiore alla media annua. I dati di sintesi sono riportati nello schema seguente, mentre la correlazione tra i valori annui e la loro frequenza è riportata in fig. 4.

- Portata media annua massima (1960) $Q_{y_{\max}} = 4,76 \text{ m}^3/\text{s} = 46,7 \text{ L/s/km}^2$ ($D_{y_{\max}} = 1.473 \text{ mm}$; $V_{y_{\max}} = 150 \cdot 10^6 \text{ m}^3$);
- Correlazione “Qy” con frequenza “F”: $Q_y = 4,268 - 3,169 \cdot F$ ($R^2 = 0,97$; fig. 4);
- Portata media annua dell’anno idrologico abbondante ($F = 0,2$; $Tr = 5$ anni) $Q_{yF20} = 3,63 \text{ m}^3/\text{s} = 35,6 \text{ L/s/km}^2$ ($D_{yF20} = 1.123 \text{ mm}$; $V_{yF20} = 115 \cdot 10^6 \text{ m}^3$);
- Portata media annua $Q_{y_{\text{med}}} = 2,68 \text{ m}^3/\text{s} = 26,3 \text{ L/s/km}^2$ ($D_{y_{\text{med}}} = 829 \text{ mm}$; $V_{y_{\text{med}}} = 85 \cdot 10^6 \text{ m}^3$);
- Deviazione standard percentuale $s = 34\%$;
- Percentuale numero “N” anni $(Q_{y_{\text{med}}} - s) < N < (Q_{y_{\text{med}}} + s) = 67\%$;
- Percentuale numero “N” anni $(Q_{y_{\text{med}}} - 2s) < N < (Q_{y_{\text{med}}} + 2s) = 94\%$;
- Percentuale numero “N” anni $(Q_{y_{\text{med}}} - 3s) < N < (Q_{y_{\text{med}}} + 3s) = 100\%$;
- Percentuale numero “N” anni $> Q_{y_{\text{med}}} = 54\%$;
- Percentuale numero “N” anni $< Q_{y_{\text{med}}} = 46\%$;

- Portata media annua dell'anno idrologico scarso ($F = 0,8$; $Tr = 1,25$ anni) $Q_{AyF80} = 1,73 \text{ m}^3/\text{s} = 17,0 \text{ L/s/km}^2$ ($DyF80 = 535 \text{ mm}$; $VyF80 = 55 \cdot 10^6 \text{ m}^3$);
- Portata media annua minima (2006) $Q_{y_{\min}} = 1,28 \text{ m}^3/\text{s} = 12,5 \text{ L/s/km}^2$ ($Dy_{\min} = 394 \text{ mm}$; $Vy_{\min} = 40 \cdot 10^6 \text{ m}^3$);
- Coefficiente di deflusso annuo massimo (1936) = 0,95;
- Coefficiente di deflusso medio annuo $Dy_{\text{med}}/Ay_{\text{med}} = 0,72$;
- Coefficiente di deflusso annuo minimo (1954) = 0,46;

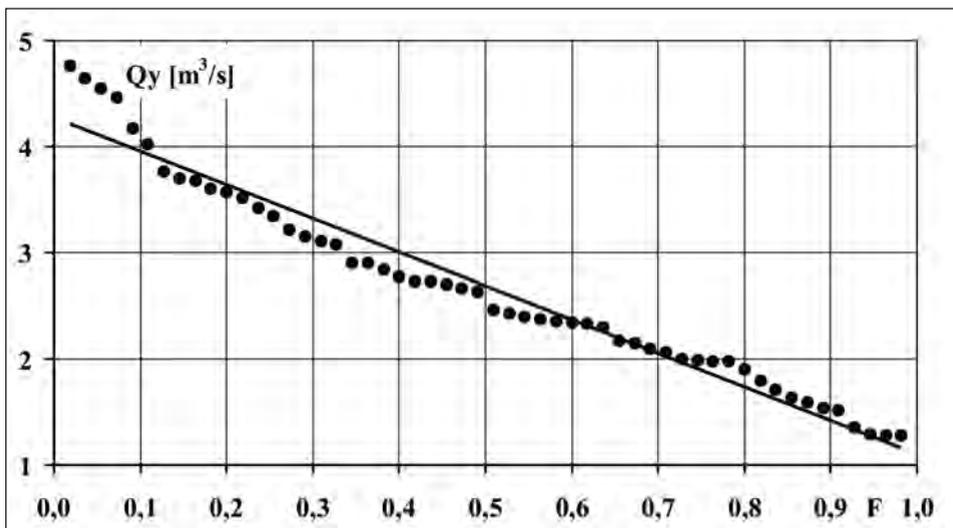


Fig. 4 - Stazione idrometrica di Monterosso sul Grana (710 m s.l.m.). Correlazione tra i valori annui delle portate “ Q_y ” [m^3/s] e la loro frequenza “ F ”. Periodo di osservazione 1934 ÷ 1973, 1974 ÷ 1979, 2002 ÷ 2007, 2009 ÷ 2012 (55 anni).

Quale sintesi del bilancio idrologico si utilizza il coefficiente di deflusso medio annuo (rapporto deflussi/afflussi $Dy_{\text{med}}/Ay_{\text{med}}$), risultato pari a 0,72. Il Grana a Monterosso può quindi essere collocato, nella classificazione del Pallucchini (1934), nel *tipo alpino*, in cui rientrano tutti i corsi d’acqua con coefficiente di deflusso superiore a 0,7. Merita evidenziare la notevole variabilità interannuale di tale parametro idrologico; risulta infatti un valore massimo di 0,95 nel 1936 (valore tipico dei regimi nivoglaciali) e uno minimo di 0,46 nel 1954 (valore tipico dei regimi francamente pluviali). Risulta una buona correlazione tra i valori annui degli afflussi meteorici e dei coefficienti di deflusso (fig. 5).

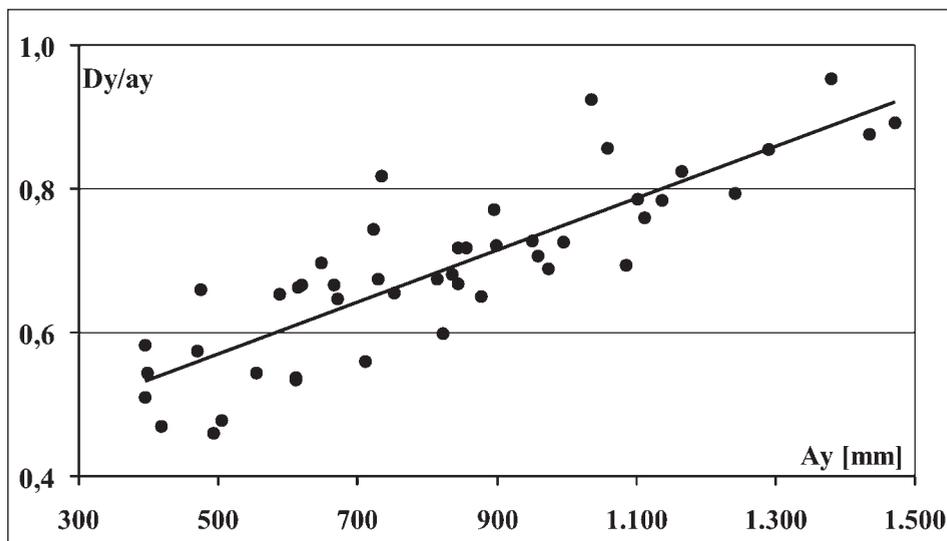


Fig. 5 - Stazione idrometrica di Monterosso sul Grana (710 m s.l.m.). Correlazione tra i valori annui degli afflussi “Ay” [mm] e il coefficiente di deflusso (Dy/ay). Periodo di osservazione 1934 ÷ 1973, 1974 ÷ 1979, 2002 ÷ 2007, 2009 ÷ 2012 (55 anni).

$$Dy/ay = 0,0004 \cdot Ay + 0,391 \quad (R^2 = 0,73)$$

I dati di sintesi dell'idrologia su scala di tempo mensile sono riportati in tab. 2. Nella maggior parte dell'anno, afflussi e deflussi hanno andamento parallelo, con i primi superiori ai secondi (fig. 6; $Dm_{med}/Am_{med} < 1$). Nel trimestre aprile ÷ giugno la situazione si inverte ($Dm_{med}/Am_{med} > 1$), poiché le portate del Grana sono alimentate anche dalla fusione della neve accumulata nel bacino, caratterizzato da una buona porzione superiore a 1.700 m s.l.m. (fig. 1). Nel 70% degli anni la più elevata portata media mensile si è manifestata in maggio, ben staccato dall'aprile con il 15%. Nel 41% degli anni la più bassa media mensile si è manifestata in gennaio, seguito dal dicembre con il 22%.

Nell'ambito della classificazione proposta dal Tonini (1966) si tratta di un corso d'acqua a “*regime nivopluviale*” che, secondo De Biaggi *et al.* (1987) può essere indicato dal codice 103201 (*zona umida ad acque correnti naturali di tipo nivopluviale o prealpino*). Le più cospicue differenze tra afflussi e deflussi (deficit di deflusso) si manifestano in autunno in quanto, per le perdite di evapotraspirazione estive che hanno parzialmente intac-

cato la riserva idrica nelle porzioni meno elevate del bacino, una parte delle precipitazioni anziché alimentare i deflussi, va a ricostruire la riserva.

Tab. 2 - Regime delle portate mensili (Qm) e dei deflussi (Dm) alla stazione di Monterosso (710 m s.l.m.) sul Grana. Valori massimi assoluti (Qm_{max}), dell'anno idrologico abbondante (QmF20), medi (Qm_{med}), dell'anno idrologico scarso (QmF80) e minimi assoluti (Qm_{min}) espressi come portate [m³/s], portate specifiche [L/s/km²] e come deflussi [mm]. Distribuzioni percentuali dei massimi (N Qm_{max-y}) e dei minimi (N Qm_{min-y}) annuali. Deviazione standard (s). Numero percentuale di casi con valori superiori (N > Qm_{med}) e inferiori (N < Qm_{med}) alla media. Coefficienti di deflusso (Dm_{med}/Am_{med}). Periodo di osservazione 1934 ÷ 1973, 1974 ÷ 1979, 2002 ÷ 2007, 2009 ÷ 2012 (55 anni).

Parametri		gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Qm _{max}	m ³ /s	2,48	2,35	5,66	11,70	15,90	10,26	5,63	3,18	4,06	7,84	11,30	4,32
	L/s/km ²	24,3	23,0	55,5	114,7	155,9	100,6	55,2	31,2	39,8	76,9	110,8	42,4
Dm _{max}	mm	64	61	146	301	410	264	145	82	105	202	291	111
QmF20	m ³ /s	1,46	1,53	3,17	6,88	9,54	6,12	2,53	1,57	2,12	3,31	3,38	1,97
	L/s/km ²	14,3	15,0	31,1	67,4	93,5	60,0	24,8	15,4	20,7	32,4	33,2	19,3
DmF20	mm	38	39	82	177	246	158	65	40	54	85	87	51
Qm _{med}	m ³ /s	1,08	1,13	2,34	5,08	7,05	4,52	1,87	1,16	1,56	2,44	2,50	1,45
	L/s/km ²	10,6	11,1	23,0	49,8	69,1	44,3	18,3	11,4	15,3	23,9	24,5	14,2
	%	40	42	87	189	263	168	70	43	58	91	93	54
Dm _{med}	mm	28	29	60	131	182	116	48	30	40	63	64	37
N Qm _{max-y}	%	0	0	0	15	70	9	0	0	2	4	0	0
Dm _{med} /Am _{med}		0,45	0,44	0,66	1,09	1,22	1,07	0,80	0,40	0,42	0,47	0,59	0,47
N Qm _{min-y}	%	41	13	0	0	0	0	2	6	9	6	2	22
s	m ³ /s	0,45	0,47	1,29	2,29	3,55	2,37	0,96	0,47	1,00	2,07	2,01	0,87
	%	42	41	55	45	50	53	51	40	64	85	81	60
(Qm _{med} -1s)<N<(Qm _{med} +1s)	%	74	72	78	70	74	69	78	83	72	80	87	81
(Qm _{med} -2s)<N<(Qm _{med} +2s)	%	93	96	24	94	94	94	96	94	98	94	98	94
(Qm _{med} -2s)<N<(Qm _{med} +2s)	%	98	100	100	100	100	100	98	98	100	100	98	98
N > Qm _{med}	%	35	31	35	43	44	43	39	44	31	37	39	37
N < Qm _{med}	%	65	69	65	57	56	57	61	56	69	63	61	63
QmF80	m ³ /s	0,70	0,73	1,51	3,28	4,55	2,91	1,20	0,75	1,01	1,58	1,61	0,94
	L/s/km ²	6,8	7,1	14,8	32,1	44,6	28,6	11,8	7,3	9,9	15,4	15,8	9,2
DmF80	mm	18	19	39	84	117	75	31	19	26	41	42	24
Qm _{min}	m ³ /s	0,55	0,50	0,56	1,73	2,08	1,04	0,61	0,61	0,52	0,41	0,38	0,36
	L/s/km ²	5,4	4,9	5,5	17,0	20,4	10,2	6,0	6,0	5,1	4,0	3,7	3,5
Dm _{min}	mm	14	13	14	45	54	27	16	16	13	11	10	9

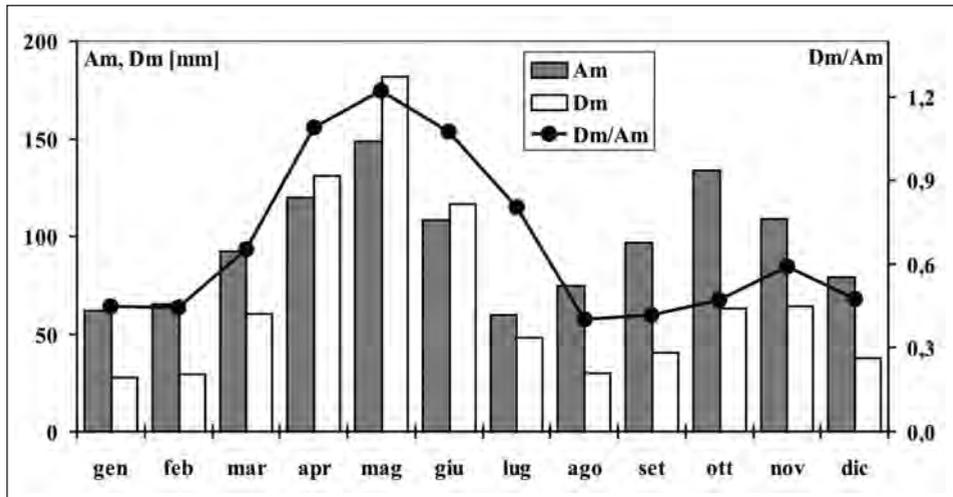


Fig. 6 - Regime degli afflussi meteorici (Am_{med}) dei deflussi (Dm_{med}) medi mensili e dei coefficienti di deflusso Dm_{med}/Am_{med} . Bacino del Grana (102 km^2) sotteso a Monterosso (710 m s.l.m.). Periodo di osservazione 1934 ÷ 1973, 1974 ÷ 1979, 2002 ÷ 2007, 2009 ÷ 2012 (55 anni).

PORTATE DI DURATE CARATTERISTICHE

La tab. 3 riporta le portate medie annue di durate caratteristiche del Grana alla stazione di Monterosso, espresse sia come valori assoluti [m^3/s], sia come valori specifici [$\text{L}/\text{s}/\text{km}^2$]. Da questi si ricava la curva di durata delle portate (fig. 7). Sono anche indicate le medie delle massime e delle minime giornaliere annuali che si possono considerare rispettivamente come le portate medie annue di durata pari a 1 giorno e a 365 giorni.

Tab. 3 - Bacino del Grana (102 km^2) sotteso a Monterosso (710 m s.l.m.). Portate medie annue di durata caratteristica. Periodo di osservazione 1934 ÷ 1973, 1974 ÷ 1979, 2002 ÷ 2007, 2009 ÷ 2012 (55 anni).

	Q1	Q10	Q30	Q60	Q91	Q135	Q182	Q274	Q355	Q365
m^3/s	22,99	10,42	6,91	4,68	3,32	2,22	1,52	0,98	0,64	0,62
$\text{L}/\text{s}/\text{km}^2$	225,4	102,2	67,7	45,9	32,5	21,8	14,9	9,6	6,3	6,1

Merita mettere in evidenza la portata media annua di durata pari a 10 giorni: portate superiori a $10 \text{ m}^3/\text{s}$ sono mediamente disponibili soltanto per 10 giorni all'anno; si tratta di valori considerevoli ($> 100 \text{ L}/\text{s}/\text{km}^2$), sep-

pure notevolmente inferiori alla portata assoluta di massima piena al colmo di tutto il periodo di 55 anni considerato, pari a $219 \text{ m}^3/\text{s}$ del 3 maggio 1949.

Il valore maggiormente rappresentativo delle condizioni idrologiche del Grana è quello della portata media annua di durata pari a 182 giorni, che è risultata di $1,52 \text{ m}^3/\text{s}$. Per metà dell'anno, in media, le portate disponibili in alveo sono inferiori. In fig 7 è rappresentata anche la media annua $Q_{y_{med}} = 2,68 \text{ m}^3/\text{s}$, a partire dalla quale, con metodo grafico, risulta una durata di 110 giorni; per oltre due terzi dell'anno le portate disponibili sono inferiori.

Il valore più importante è quello relativo alla portata di durata di 355 giorni, risultata pari a $0,64 \text{ m}^3/\text{s}$, poco meno di un quarto della media annua. Portate inferiori (di poco) sono mediamente disponibili in alveo soltanto per una decina di giorni all'anno. Si tratta di un riferimento importante, in quanto si può considerare una portata di magra a tutti gli effetti ed è in tale situazione che il corso d'acqua è maggiormente vulnerabile.

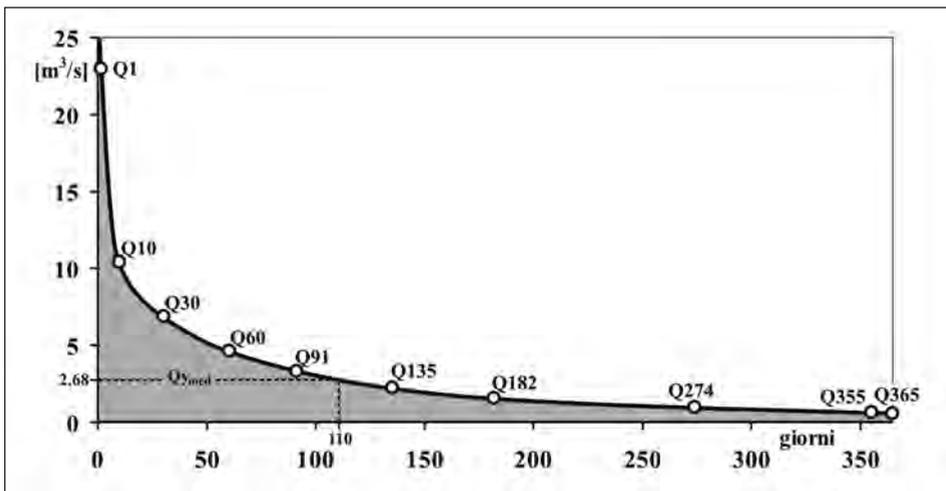


Fig. 7 - Curva di durata delle portate rappresentativa del bacino del Grana (102 km^2) sotteso a Monterosso (710 m s.l.m.). Periodo di osservazione 1934 ÷ 1973, 1974 ÷ 1979, 2002 ÷ 2007, 2009 ÷ 2012 (55 anni). La Q_1 è la media delle portate massime giornaliere annue, mentre la Q_{365} è la media delle portate minime giornaliere annue. Portate pari o superiori a quella media annua ($Q_{y_{med}} = 2,68 \text{ m}^3/\text{s}$) hanno durata media complessiva di 110 giorni.

Infine, sul grafico della fig. 7, in una versione di maggiore dettaglio, è stata planimetrata l'area sottesa dalla curva (il suo integrale); essa rappresenta il volume medio annuo di deflusso alla sezione di Monterosso ed è risultata pari a quasi $80 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, un poco inferiore a quello ($85 \cdot 10^6 \text{ m}^3$) calcolato utilizzando il dato della portata media annua. Tale piccola differenza (meno del 6%) non stupisce, in quanto il primo valore è risultato dall'applicazione di un metodo grafico-manuale, mentre il secondo dall'applicazione di un calcolo aritmetico.

PORTATE DI MAGRA

La portata di “magra normale” viene spesso definita come “media dei minimi annuali” ($0,62 \text{ m}^3/\text{s}$ nel caso in oggetto). In realtà, come osservato da Perosino (1990), la media dei minimi non è propriamente un dato da considerare in questo senso, perché non del tutto attendibile, sia dal punto di vista statistico, sia da quello idrologico. Una popolazione di dati rappresentata da valori di eventi eccezionali non è del tutto correttamente descrivibile da una media aritmetica, in conseguenza della particolare distribuzione dei dati.

Disponendo di un serie di “n” dati [m^3/s] relativi ai valori di portate minime istantanee annuali (rilevate in un periodo di $n = 55$ anni di osservazione come nel caso del Grana a Monterosso) $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$ ordinati in senso crescente e indicando con “m” la posizione di ciascun dato ($m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$), si può ricorrere al metodo Gumbel, modello ampiamente utilizzato per la rappresentazione degli eventi eccezionali, risultato altamente significativo dall'United States Bureau (Reich, 1963) ed espresso secondo la seguente formulazione (Mosetti, 1977, 1979):

$$K = \frac{\sqrt{6}}{\pi} E + \text{LogLog} \frac{\text{Tr}}{\text{Tr} - 1}$$

dove $E = 0,57721\dots$ è la costante di Eulero e il fattore “K” assume valori in funzione della posizione “m” degli “n” dati ordinati in senso crescente.

Con questa relazione si calcolano tanti fattori $K_1, K_2, K_3, \dots, K_n$ quanti sono gli “n” dati. Fra i diversi valori “K” e i corrispondenti valori di portata minima annuale “Q” si calcola il coefficiente di correlazione lineare che, se risulta significativo (prossimo a uno), consente anche il calcolo dei parametri “a” e “b” della retta interpolante: $Q = a + b \cdot K$ che permette di stimare valori di “Q” per qualsiasi “Tr”, pur con cautela per eventi caratterizzati da maggiore eccezionalità rispetto al numero “n” di dati misurati.

Infine è possibile proporre una formula di sintesi che lega direttamente portata e tempo di ritorno. La procedura sopra descritta è stata applicata ai minimi annuali invernali ed estivi (tab. 4).

I minimi assoluti annuali si verificano, nella maggior parte, nella stagione invernale, soprattutto nel bimestre dicembre/gennaio. Ma un certo numero di eventi si verificano anche in tarda estate e in particolare nel bimestre agosto/settembre.

Tab. 4 - Portate minime assolute (Q) per diversi per diversi tempi di ritorno (Tr) relative al bacino del Grana (102 km ²) sotteso a Monterosso (710 m s.l.m.). Periodo di osservazione 1934 ÷ 1973, 1974 ÷ 1979, 2002 ÷ 2007, 2009 ÷ 2012 (55 anni).											
Q = 1,0771/Tr ^{0,426} (R ² = 0,95)	inverno	Tr	anni	2	5	10	20	30	50	70	100
		Q	m ³ /s	0,69	0,54	0,44	0,34	0,29	0,22	0,17	0,12
Q = 1,0436/Tr ^{0,348} (R ² = 0,96)	estate	Tr	anni	2	5	10	20	30	50	70	100
		Q	m ³ /s	0,74	0,59	0,50	0,40	0,35	0,28	0,23	0,18

IL METODO SIMPO

Il metodo di regionalizzazione idrologica più ampiamente utilizzato e collaudato per la caratterizzazione idrologica di un corso d'acqua per il quale non sono disponibili dati rilevati presso una stazione idrometrica per un periodo di osservazione significativo, è il SIMPO (1980). A titolo esemplificativo, merita citare le seguenti esperienze:

- ha costituito la metodologia di riferimento per la *“Indagine conoscitiva e progetto generale di fattibilità per un sistema di monitoraggio idrometrico inerente il reticolo idrografico superficiale piemontese”* condotta da ENEL - CRIS - Mestre/Ydrodata (Torino); Regione Piemonte, 1989;
- è stato adottato quale metodo di riferimento nell'ambito delle *“Istruzioni integrative per l'applicazione del DMV - deflusso minimo vitale in un corso d'acqua naturale - e relative all'introduzione di uno standard di compatibilità ambientale per i prelievi da acque superficiali”* (Regione Piemonte, 1992); tali *“Istruzioni”* hanno costituito l'allegato alla L.R. 5/1994 ai sensi dei D.P.R. 8/1972 e 616/1977;
- ha costituito il metodo di riferimento per gli studi riguardanti le *“azioni per la predisposizione di una normativa riguardante il minimo deflusso vitale negli alvei”* di cui al Progetto Speciale PS 2.5 dell'Autorità del Bacino del Po (Hydrodata, 1999) e recentemente riproposto, dalla Regione Piemonte, nell'ambito del Progetto di Piano di Tutela delle Acque in applicazione del D. Lgs. 152/99;
- è stata ampiamente utilizzata per i capitoli dedicati all'idrologia nell'am-

bito dello studio sulle “Linee di gestione delle risorse idriche dei principali bacini idrografici affluenti del fiume Po in Provincia di Torino” (Provincia di Torino, 2000);

- è stata ampiamente utilizzata per la redazione delle monografie dei bacini idrografici nell’ambito del Piano di Tutela delle Acque “PTA” (Regione Piemonte, 2009);
- viene suggerita, tra le altre metodologie, come adatta per la determinazione della portata media annua quale valore da inserire nella formula relativa al calcolo del DMV dal Regolamento Regionale 8/R recante le: “disposizioni per la prima attuazione delle norme in materia di deflusso minimo vitale - L.R. 61 del 29/12/2000” (Bollettino Ufficiale 29 del 19/07/2007).

Il metodo SIMPO permette di determinare i parametri idrologici fondamentali per una data sezione su un corso d’acqua sulla base di quelli principali relativi al bacino sotteso, quali l’afflusso meteorico annuo “Ay” [mm], l’area del bacino “S” [km²] e l’altitudine media “H_{med}” [m s.l.m.].

L’applicazione del SIMPO alla stazione idrometrica di Monterosso, considerando i valori succitati Ay_{med} = 1.148 mm e H_{med} = 1.540 m s.l.m., rappresentativi del periodo considerato di N = 55 anni, ha permesso di ricavare il valore della portata media annua Qy_{med}S = 2,84 m³/s = 27,9 L/s/km² (Dy_{med}S = 880 mm). Il rapporto tra i valori medi della portata risultata dalle osservazioni (2,68 m³/s = 26,3 L/s/km²) e quella calcolata con SIMPO risulta pari a Qy_{med}/Qy_{med}S = 0,944. In altri termini risulta che il metodo Simpo, per il bacino del Grana, tende ad una sovrastima della portata media annua del 5,6 % circa. Pertanto si ipotizza di applicare un fattore correttivo alla formula relativa al calcolo della portata media annua specifica (Qy_{med}SC) per qualunque porzione del bacino del Grana:

$$Qy_{med}SC [L/s/km^2] = (- 24,5694 + 0,0086 \cdot H_{med} + 0,03416 \times Ay) \cdot 0,944$$

Una analoga procedura è stata applicata anche per le portate medie mensili specifiche [L/s/km²], al fine di ottenere fattori correttivi per ciascun mese e validi per qualunque porzione del bacino del Grana:

gennaio	$Qm_{med}SC = (14,16232 - 0,00683 \cdot H_{med} + 0,36918 \cdot Qy_{med}SC) \times 0,79$
febbraio	$Qm_{med}SC = (16,49263 - 0,00824 \cdot H_{med} + 0,37478 \cdot Qy_{med}SC) \times 0,81$
marzo	$Qm_{med}SC = (22,74646 - 0,01111 \cdot H_{med} + 0,46902 \cdot Qy_{med}SC) \times 1,28$
aprile	$Qm_{med}SC = (13,85406 - 0,01101 \cdot H_{med} + 1,15662 \cdot Qy_{med}SC) \times 1,82$
maggio	$Qm_{med}SC = (- 9,83665 + 0,00797 \cdot H_{med} + 1,63288 \cdot Qy_{med}SC) \times 1,52$

giugno	$Q_{m_{med}}SC = (-34,9228 + 0,02826 \cdot H_{med} \cdot 1,62190 \times Q_{y_{med}}SC) \cdot 0,86$
luglio	$Q_{m_{med}}SC = (-24,4942 + 0,02066 \cdot H_{med} \cdot 1,04446 \times Q_{y_{med}}SC) \cdot 0,53$
agosto	$Q_{m_{med}}SC = (-16,0687 + 0,00955 \cdot H_{med} \cdot 0,95881 \times Q_{y_{med}}SC) \cdot 0,48$
settembre	$Q_{m_{med}}SC = (-13,0179 + 0,00232 \cdot H_{med} \cdot 1,21272 \times Q_{y_{med}}SC) \cdot 0,68$
ottobre	$Q_{m_{med}}SC = (-4,54832 + 0,00479 \cdot H_{med} \cdot 1,33784 \times Q_{y_{med}}SC) \cdot 1,03$
novembre	$Q_{m_{med}}SC = (16,50714 - 0,01604 \cdot H_{med} \cdot 1,25843 \times Q_{y_{med}}SC) \cdot 0,98$
dicembre	$Q_{m_{med}}SC = (18,06197 - 0,01030 \cdot H_{med} \cdot 0,56036 \times Q_{y_{med}}SC) \cdot 0,84$

Occorre precisare che l’inserimento dei fattori di correzione nelle formule per il calcolo delle portate specifiche medie mensili potrebbe portare a risultati la cui media potrebbe risultare leggermente diversa dalla “ $Q_{y_{med}}SC$ ”. Conviene pertanto determinare le distribuzioni percentuali delle portate mensili e quindi rapportarle alla “ $Q_{y_{med}}SC$ ” stessa. Infine, per quanto riguarda le portate medie specifiche di durata caratteristica “ $Q_{10 \div 355}SC$ ” [L/s/km²], si propongono le seguenti formule corrette:

$$Q_{10}SC = (5,06749 \cdot S^{0,057871} \cdot Q_{c_{s-med}}^{0,965037}) \cdot 1,12$$

$$Q_{91}SC = (1,29772 \cdot S^{0,009539} \cdot Q_{c_{s-med}}^{0,976926}) \cdot 0,98$$

$$Q_{182}SC = (0,54425 \cdot S^{0,049132} \cdot Q_{c_{s-med}}^{0,980135}) \cdot 0,89$$

$$Q_{274}SC = (0,18670 \cdot S^{0,069105} \cdot Q_{c_{s-med}}^{1,108675}) \cdot 1,00$$

$$Q_{355}SC = (0,07560 \cdot S^{0,068232} \cdot Q_{c_{s-med}}^{1,234733}) \cdot 1,07$$

È possibile proporre un esempio di applicazione del modello SIMPO corretto come sopra illustrato considerando il bacino del Bedale, tributario di destra del Grana (840 m s.l.m.) nel territorio comunale di Monterosso. I parametri fondamentali da utilizzare sono i seguenti:

Afflusso meteorico medio annuo $A_{y_{med}} = 1.100$ mm;
 Altitudine media $H_{med} = 1.406$ mm;
 Superficie del bacino $S = 25,4$ km².

L’applicazione del SIMPO tal quale porta al valore della portata media annua $Q_{y_{med}}S = 0,64$ m³/s = 25,1 L/s/km². Ma con l’applicazione del fattore correttivo (0,944) sopra determinato per il bacino del Grana, risulta il valore leggermente inferiore $Q_{y_{med}}SC = 0,60$ m³/s = 23,7 L/s/km². Questo viene inserito nelle altre formule corrette per ottenere le portate medie mensili e di durata sotto riportate e quindi una idrologia caratterizzata, come atteso, da un regime idrologico di transizione tra il nivopluviale e il pluviale ($Dm_{med}/Am_{med} = 0,68$).

Q _{m,med} SC	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
L/s/km ²	10,4	11,0	23,0	46,6	60,4	36,9	15,2	9,5	12,9	20,7	23,2	14,1
m ³ /s	0,26	0,28	0,58	1,18	1,53	0,94	0,39	0,24	0,33	0,53	0,59	0,36

Q10÷355SC	10	91	182	274	355
L/s/km ²	99,8	28,9	12,6	7,8	5,0
m ³ /s	2,53	0,73	0,32	0,20	0,13

Infatti, rispetto al bacino del Grana sotteso a Monterosso, risulta una altitudine media inferiore di 140 m s.l.m. circa e soprattutto una percentuale della fascia altimetrica superiore a 1.700 m s.l.m. del 18% del Bedale contro quella superiore al 30% del bacino del Grana, per il quale quindi il contributo della fusione delle nevi a fine primavera e inizio estate è ben più cospicuo.

CONCLUSIONI

È stata effettuata un'analisi idrologica di dettaglio del Grana alla stazione idrometrica di Monterosso, sulla base di valori di portata misurati per un periodo di osservazione altamente significativo (55 anni). Si sono quindi effettuate elaborazioni anche al fine di ottenere formule di regionalizzazione adatte per la caratterizzazione di una qualunque sezione del reticolo idrografico del bacino del Grana.

La conoscenza dell'entità delle risorse idriche disponibili è fondamentale per la gestione. Le acque superficiali sono ampiamente sfruttate a monte per fini idroelettrici e a valle per fini irrigui. Ma se lo sfruttamento deve tenere conto della disponibilità complessiva dell'acqua, bisogna porre una particolare attenzione anche a quella porzione che deve essere garantita negli alvei fluviali per la conservazione degli ecosistemi acquatici: i Deflussi Minimi Vitali (DMV).

L'allegato "A" del succitato Regolamento Regionale 8/R recante le: "*disposizioni per la prima attuazione delle norme in materia di deflusso minimo vitale - L.R. 61 del 29/12/2000*" (Bollettino Ufficiale 29 del 19/07/2007) illustra le modalità di calcolo del valore del DMV per una qualunque sezione del reticolo idrografico piemontese. In particolare illustra il calcolo per il cosiddetto DMV di base (DMVb) che doveva essere applicato a "tutte" le derivazioni idriche esistenti entro il 31/12/2008. Diventa quindi interessante verificare la situazione attuale del Grana presso Caraglio, dove sono presenti importanti derivazioni per fini irrigui. Si considerano le variabili fondamentali relative alla sezione in corrispondenza della stazione di

campionamento con codice “020007” della rete di monitoraggio regionale predisposta dall’ARPA-Piemonte ai sensi del D. Lgs. 152/2006:

Afflusso meteorico medio annuo $A_{y_{med}} = 1.050$ mm;
Altitudine media $H_{med} = 1.355$ mm;
Superficie del bacino $S = 145$ km².

Con l’applicazione del SIMPO risulta $Q_{y_{med}}S = 22,9$ L/s/km², che diventa $Q_{y_{med}}SC = 21,7$ L/s/km², con l’applicazione del fattore di correzione sopra determinato; la portata di magra risulta $Q_{355SC} = 0,73$ m³/s, mentre quella della magra estiva caratterizzata da un tempo di ritorno di 5 anni (o dell’anno idrologico scarso) è pari a 0,80 m³/s. Il succitato allegato “A” del regolamento regionale 8R, per il calcolo del DMVb riporta la seguente formula:



Fig. 8 - Grana presso Caraglio (550 m s.l.m). L’alveo è totalmente prosciugato a causa di prelievi idrici per fini irrigui che vengono effettuati senza rispettare le norme che impongono il rilascio del deflusso minimo vitale (13 ottobre 2009).

$$DMVb = K \times Q_{y_{med}} \times S \times M \times A$$

Dove: $K = 0,15$ è indicato nella cartografia del PTA “A2.12”; Regione Piemonte, 2009;

$Q_{y_{med-s}}$ = portata media annua $Q_{y_{med}} SC = 21,7$ L/s/km² come sopra calcolato;

$S = 145$ km²;

$M = 0,9$ in quanto area appartenente alla classe morfologica 1 nella cartografia del PTA “A2.12”;

$A = 1,0$ in quanto, non essendo segnalato nella cartografia del PTA A2.12 vale il valore assegnato.

Da cui, applicando la formula si ricava il valore $DMVb = 0,43$ m³/s. Ciò significa che una portata di garanzia di poco più di 400 L/s, il 60 % della portata di magra normale e praticamente la metà della magra estiva in condizioni siccitose ($Tr = 5$ anni; frequenza di superamento dell’80 %), dovrebbe essere sempre garantita nell’alveo del Grana nell’area di Caraglio. Purtroppo la situazione reale è assai diversa e il Grana risulta, in estate, con alveo completamente prosciugato (fig. 8). In tale situazione risulta chiaramente impossibile il conseguimento degli obiettivi di qualità ai sensi del D. Lgs. 152/2006 in recepimento della Direttiva 2000/60/CE.

BIBLIOGRAFIA

- CONTESSINI F., 1956 – Impianti idroelettrici. Tamburini, Milano.
- DE BIAGGI E., PEROSINO G.C., FOIETTA P., STOPPA T., 1987 – L’eutrofizzazione dei bacini lacustri piemontesi ed il Progetto di Banca Dati delle Zone Umide. Rivista Piemontese di Storia Naturale, 8: 3-20.
- DURIO P., MORI D., PEROSINO G.C., 1982 – Le variazioni climatiche, le glaciazioni, la morfogenesi glaciale (particolari riferimenti al Piemonte e alla Valle d’Aosta). Laboratorio Riforma (Ce.Se.Di). Assessorato alla Cultura della Provincia di Torino.
- FORNERIS G., PASCALE M., PEROSINO G.C., 2012 – Pesci e ambienti acquatici del Piemonte. Assessorato all’Agricoltura, Tutela della Fauna e della Flora. Regione Piemonte, Torino.
- HYDRODATA, 1999 – Progetto speciale 2.5. Azioni per la predisposizione di una normativa riguardante il minimo deflusso vitale negli alvei. Autorità Di Bacino del Fiume Po. Parma.
- MENNELLA C., 1967 – Il clima d’Italia nelle sue caratteristiche e varietà e quale fattore dinamico del paesaggio. Vol I, EDART, Napoli.
- MOSETTI F., 1977 – Le acque. U.T.E.T., Torino.
- MOSETTI F., 1979 – Fondamenti di oceanologia e idrologia. U.T.E.T., Torino.

- PALLUCCHINI A., 1934 – Classifica dei fiumi italiani secondo il loro coefficiente di deflusso. C.N.R. - Comitato per la Geografia, Delegazione Italiana al Congresso Internazionale di Geografia (Varsavia, agosto - settembre 1934).
- PEROSINO G.C., 1987 – Climatologia di Torino. *Rivista Piemontese di Storia Naturale*, 8: 21-52.
- PEROSINO G.C., 1990 – Portate minime per la conservazione dell'idrofauna dei corsi d'acqua soggetti a prelievi idrici. *Atti III Convegno Nazionale A.I.I.A.D. Rivista Italiana di Idrobiologia*, 29 (1): 426-204.
- PEROSINO G.C., 1997 – Elementi climatici ed idrologici del bacino imbrifero del torrente Orco. *Rivista Piemontese di Storia Naturale*, 18: 13-55.
- PEROSINO G.C., 2006 – Idrologia dello Stura di Lanzo a Lanzo. *Rivista Piemontese di Storia Naturale* 27: 3-20.
- PEROSINO G.C., SCARPINATO T., 1982 – Elementi pluviometrici ed idrologici del bacino idrografico del Torrente Cervo. *Rivista Piemontese di Storia Naturale*, 3: 77-96.
- PROVINCIA DI TORINO, 2000 – Linee di gestione delle risorse idriche dei principali bacini idrografici affluenti del fiume Po in Provincia di Torino. *Area Ambiente, Parchi, Risorse Idriche e Tutela della Fauna. Servizio Gestione delle Risorse Idriche dell'Amministrazione Provinciale di Torino.*
- REGIONE PIEMONTE, 1980 – Progetto per la pianificazione delle risorse idriche del territorio piemontese. *Assessorato Tutela Ambiente, Torino.*
- REGIONE PIEMONTE, 1989 – Indagine conoscitiva e progetto generale di fattibilità per un sistema di monitoraggio idrometrico inerente il reticolo idrografico superficiale piemontese. ENEL - CRIS - Mestre/YDRODATA (Torino); *Assessorato Tutela Ambiente, Torino.*
- REGIONE PIEMONTE, 1992 – Istruzioni integrative per l'applicazione del DMV - deflusso minimo vitale in un corso d'acqua naturale - e relative all'introduzione di uno standard di compatibilità ambientale per i prelievi da acque superficiali. *Settore Pianificazione e Gestione delle Risorse Idriche. Assessorato all'Ambiente, Torino.*
- REGIONE PIEMONTE, 1998 – Distribuzione regionale di piogge e temperature. *Settore Meteoidrografico e Reti di Monitoraggio, Torino.*
- REGIONE PIEMONTE, 2009 – Tutela delle acque: istruzioni per l'uso. *Direzione Regionale 10 (Ambiente). Settore "tutela quantitativa e qualitativa delle acque". Torino.*
- REICH B.M., 1963 – Short-duration rainfall intensity estimates and other design aids regions of sparse data. *Journal. Hydrology.*, 1: 3-29.
- REMENIERAS G., 1972 – *L'hydrologie de l'ingenieur*. Deyrolles, Parigi.
- SERVIZIO IDROGRAFICO ITALIANO, 1934-1979 – *Annali Idrologici (Parte seconda)*. Istituto Poligrafico dello Stato. Ministero Lavori Pubblici. Roma.
- SIMPO S.p.A., 1980 – Studio e progettazione di massima delle sistemazioni idrauliche dell'asta principale del Po, dalle sorgenti alla foce, finalizzata alla difesa ed alla conservazione del suolo e nella utilizzazione delle risorse idriche. *Magistrato del Po, Parma.*
- STRAHLER A.N., 1952 – Hypsometric (area - altitudine) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63: 1.111-1.142.
- STRAHLER A.N., 1968 – *Physical Geography*. J. Wiley & Sons, Inc., New York.
- TONINI D., 1966 – *Elementi di idrografia e di idrologia*. Libreria Universitaria. Venezia.