

1. Metodo

1.1 Premessa

Il **VAPI Piemonte** è un modello operativo composto da una base modellistica idrologica avanzata e da un software applicativo di tipo GIS che consente, per ogni assegnata sezione del reticolo idrografico della regione, la stima in automatico della relazione tra il valore della portata di piena ed il valore del suo periodo di ritorno. La conoscenza di tale relazione è indispensabile per effettuare tutte le analisi di pianificazione nell'ambito del rischio di alluvione, consente di effettuare a posteriori la valutazione idrologica degli indici di eccezionalità di un evento e costituisce la base per le elaborazioni necessarie alla determinazione dei valori delle soglie in un sistema di preannuncio e di preallarme piena.

Il modello proposto è stato realizzato organizzando le conoscenze a priori relative alle fenomenologie di formazione delle portate di piena durante eventi meteorici brevi ed intensi maturate all'interno del Progetto VAPI (Progetto Nazionale per la Valutazione delle Piene in Italia), realizzato nell'arco del decennio 1985-1995 dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI). Il modello stesso, però, contiene una serie di parametri il cui valore può essere noto a priori solo nell'ambito di un intervallo, più o meno ampio e la cui variabilità può essere più o meno influente nei riguardi della stima finale. E' necessario, quindi, una preliminare operazione di calibratura di tali parametri, confrontando i risultati del modello con i valori osservati ed adottando i valori dei parametri che meglio riproducono le grandezze effettivamente osservate. In alcuni casi, tale operazione comporta che ad uno o più parametri del modello vengano attribuiti valori al di fuori del campo ritenuto inizialmente attendibile: a questo punto considerazioni fenomenologiche debbono portare a rivedere il campo teorico oppure occorre rivedere la procedura di taratura del modello. Solitamente si procede ad entrambe le operazioni in parallelo, e si effettua una scelta finale in funzione dei risultati complessivi.

Nel caso in questione, è stato adottato un modello di tipo multiparametrico e non-lineare, per tenere conto della molteplicità di fenomeni che influenzano la trasformazione finale: basti pensare dalla distinzione tra fenomeni di piena legati direttamente alla pluviometria e fenomeni in qualche maniera legati alla presenza di precipitazioni solide, che determinano una sottrazione netta di volumi all'atto della precipitazione ed un recupero di volumi e di portate all'atto dello scioglimento. In tali casi conta molto anche la stagione dell'anno in cui si verifica l'evento di piena: si può ritenere anche questo un fattore climatico che si può attribuire come una caratteristica del territorio, così come avviene per il fattore di riduzione areale delle precipitazioni, che permette il ragguaglio all'area del bacino delle precipitazioni intense stimate puntualmente, e che dipende dalle caratteristiche di persistenza spazio-temporali delle precipitazioni intense. Allo scopo, per ognuno dei fattori state distinte delle regioni omogenee, che introducono un altro livello di non-linearità nel modello.

Come è dettagliatamente specificato all'interno del manuale operativo, parallelamente alla relazione tra valore di progetto e rischio di fallanza dell'opera, il VAPI Piemonte fornisce anche tutte le indicazioni relative alle operazioni ed ai valori dei parametri adottati per ottenere il risultato finale. Nel seguito, invece, si analizzano in maniera complessiva, le prestazioni del modello stesso in termini di risultati finali di stima del valore di progetto. Allo scopo sono stati utilizzati due insiemi di dati: le sezioni di misura del data-base (SIMN + Regione Piemonte) insieme ad un insieme di sezioni per le quali esisteva una stima di esperto esterno al gruppo di lavoro che aveva elaborato il modello VAPI Piemonte, da un lato, e dall'altro a valle del suo utilizzo per alcuni anni, i valori relativi ad alcune sezioni ottenuti sulla base di valutazioni progettuali: anche in questo caso, il primo giudizio qualitativo viene fornito da esperti indipendenti al gruppo di lavoro VAPI Piemonte.

1.2. Considerazioni sulle elaborazioni nelle sezioni di misura (insieme di calibrazione)

Il primo insieme di informazioni che è stato preso in considerazione è costituito dalle serie storiche dei massimi annuali delle portate al colmo di piena istantaneo e di assegnata durata registrate in un gruppo di 24 stazioni idrometrografiche monitorate dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN) del Compartimento di Torino.

Come è mostrato in sintesi nella Tab. 1, l'applicazione sistematica del modello a questo insieme ha mostrato un comportamento strutturalmente di sovrastima della portata di piena, che è mediamente contenuto al di sotto del 5% per le portate di piena centennali. La stima della media del massimo annuale della portata di piena, invece, si presenta ottimale in quanto virtualmente indistorta ed a minima varianza. Sono presenti, però, alcuni casi con scostamenti molto significativi: in Tab. 1 sono evidenziate le situazioni in cui lo scostamento, in negativo o in positivo, è superiore al 20%.

In fig. 1 sono riportate le distribuzioni di probabilità cumulata dei valori osservati delle serie storiche di massimo annuale della portata al colmo di piena delle situazioni innanzi dette. Si nota come, in tutti i casi in cui il modello VAPI Piemonte sovrastima significativamente i valori osservati, in realtà è il comportamento delle serie osservate ad essere anomalo, almeno dal punto di vista idrologico: infatti, dal punto di vista grafico, in un diagramma semilogaritmico come quello presentato, i valori più elevati delle serie storiche dovrebbero trovarsi allineati o con concavità verso il basso, secondo l'usuale schema idrologico che prevede un comportamento di tipo Gumbel o maggiormente asimmetrico. Nei casi presentati, invece, accade sistematicamente il contrario, con i valori più estremi che sembrano collocarsi lungo un asintoto verticale, indice di un controllo sistematico delle piene, con massimo assoluto vincolato: tale comportamento si spiega usualmente attribuendo la funzione di controllo a vincoli idraulici quali sezioni di controllo come ponti a monte o sezioni ristrette a valle che comportano esondazioni e, quindi, perdita significativa di relazione tra i volumi di piena ed i volumi di pioggia concomitanti durante gli eventi di piena.

Tali casi vanno quindi correttamente interpretati, attribuendo alle stime di portata del modello VAPI il significato di stime del deflusso di piena che è idrologicamente potenziale per la sezione di interesse: tale deflusso sovrastima sistematicamente il valore di portata di piena osservato con metodi idraulici (ad es. dalle usuali scale di deflusso) a causa della presenza di vincoli di tipo locale di natura idraulica. La rimozione di tali vincoli, però, porterebbe la stima idrologica potenziale a diventare valore idraulico reale: si pensi, ad es., al caso di un corso d'acqua che, a monte di un centro abitato, abbia consistenti esondazioni d'alveo, per cui significativi volumi di piena, in ingresso a monte, non defluiscono a valle durante la piena. In tal caso, l'uso del modello VAPI porta a sovrastimare il valore della portata al picco. Successivamente, vengono effettuati lavori di sistemazione idraulica del tratto a monte in questione: tali lavori modificano le caratteristiche idrauliche del sistema per cui i fenomeni di esondazione dell'alveo vengono ridotti o annullati, ma non le caratteristiche idrologiche del bacino, per cui sono da aspettarsi in ingresso gli stessi volumi di piena di prima dei lavori. Le portate di piena nella sezione di interesse vengono quindi incrementate ed i valori ottenuti con il modello VAPI non manifestano più la tendenza a sovrastimare come nel caso precedente.

Per completezza, viene preso in considerazione anche l'unico caso in cui il modello VAPI sottostima le portate di piena osservate: il F. Grana a Monterosso. In fig. 2 vengono riportati i valori osservati (punti), la curva di regolarizzazione locale (in nero) e quella regionale (in rosso) ottenuta con il modello VAPI: si nota come il massimo osservato della serie storica venga bene interpretato dalla relazione regionale, ma non così i precedenti valori massimi. Allo scopo di considerare la possibilità di eventuali errori di osservazione, è stata riportata in fig. 3 la serie storica dei massimi annuali delle portate al colmo di piena, adimensionalizzata rispetto al valor medio: si nota come i valori che più si discostano dalla media ricadano tutti all'interno del periodo 1945-1953. Usualmente, questa circostanza avrebbe portato all'esclusione di tali dati, in quanto meno affidabili del resto della serie. Nel caso in questione, è stata fatta una ulteriore verifica: i dati presentati sono stati reperiti attraverso le Pubbl. n. 17 del Servizio Idrografico del Po e sono stati verificati sugli Annali; è stata fatta una ulteriore ricerca presso gli uffici del Servizio Idrografico di Torino, per

reperire il dato originale in termini di tracciato idrometrografico e, mediante ricostruzione delle scale di deflusso per ogni anno, è stata ottenuta una nuova serie dei massimi annuali al colmo di piena, riportata adimensionalizzata come serie ricostruita in fig. 3. La media di questa nuova serie non si discosta di molto da quella ufficiale ed anche l'andamento della serie storica è molto simile a quanto osservato in precedenza, confermando tutti gli eventi eccezionali a parte quello del 1953. E' da notare, inoltre, che i dati originali hanno permesso di estendere la serie storica fino al 1980 e si è potuto verificare che anche con un ulteriore decennio di osservazioni, rimane l'anomalia della presenza di valori estremi nel solo periodo prima detto.

Queste note mostrano come l'analisi delle osservazioni nelle stazioni di misura e la loro interpretazione non siano sempre univoche ed il fatto di avere un *dato osservato* non sia di per sé maggiormente probante rispetto ad una stima effettuata regionalmente, ma nel caso in questione non sono sufficienti per condurre alla decisione di non tener conto delle osservazioni stesse, per cui la stazione del Grana a Monterosso è stata lasciata all'interno del data-base comprensiva di tutti gli anni di osservazione.

Bacino	Area	Quota media	Qmedia	Scost.Qm	Scost.Q100	Scost.Q200	Scost.Q500
	(km ²)	(m s.l.m.)	(m ³ /s)	(%)	(%)	(%)	(%)
Orco a Cuorgnè	630	1904	485	1.1	6.2	9.7	16.3
Stura di Lanzo a Lanzo	581	1731	492	5.2	11.6	14.4	16.1
Dora Baltea a Tavagnasco	3326	2080	796	-3.1	11.0	6.9	3.6
Dora Baltea ad Aosta	1838	2270	330	-1.1	18.2	16.6	15.4
Lys a Gressoney	98	2642	34	1.4	12.6	6.3	1.3
Dora Riparia a Oulx	259	2152	57	-2.1	1.3	-4.8	-9.9
Dora Riparia a S. Antonino	952	1813	126	3.1	12.0	9.2	6.0
Chisone a S. Martino	581	1706	275	1.1	0.0	5.4	10.3
Stura di Demonte a Gaiola	560	1786	110	-7.0	-11.3	-13.7	-15.7
Stura di Demonte a Pianche	171	2068	40	1.1	24.5	21.3	19.3
Rio di Bagni a Vinadio	64	2011	24	1.1	-13.2	-13.7	-14.1
Grana a Monterosso	102	1495	41	-2.3	-36.7	-37.2	-38.2
Po a Crissolo	36	2060	36	1.5	-3.3	-1.2	1.0
Mastallone a P.te Folle	147	1352	350	1.7	41.0	51.7	62.4
Sesia a Campertogno	170	2057	161	1.3	-8.5	-6.0	-3.9
Melezzo orientale	140	1352	334	-3.1	-16.6	-13.5	-11.6
Toce a Candoglia	1532	1654	1080	3.0	14.1	20.5	25.7
Ticino alla Miorina	6599	1283	1277	6.0	45.9	39.1	30.6
Tanaro a Ponte di Nava	134	1636	152	-1.5	11.1	9.2	7.3
Tanaro a Nucetto	384	1175	264	5.0	-0.7	1.4	0.3
Tanaro a Farigliano	1508	921	730	5.2	3.5	-3.5	-8.1
Bormida di Spigno a Ferrania	52	572	211	1.1	-4.5	0.5	5.4
Borbera a Baracche	204	896	270	-1.5	-11.3	-7.3	-4.6
Scrivia a Serravalle	619	708	741	-7.3	-9.7	-7.6	-5.4
Media	862	1639	351	2.2	4.0	4.3	4.6

Tab. 1: Caratteristiche fisiche, idrologiche e statistiche delle stazioni di misura idrometrografiche prese a riferimento.

1.3. Analisi statistica delle prestazioni del modello su base regionale (insieme di controllo)

Una volta definite le caratteristiche delle prestazioni del modello VAPI Piemonte attraverso confronti delle serie storiche di massimi annuali delle portate di piena osservate nelle stazioni di misura del Servizio Idrografico, si passa a valutare se ci si può aspettare che tali prestazioni

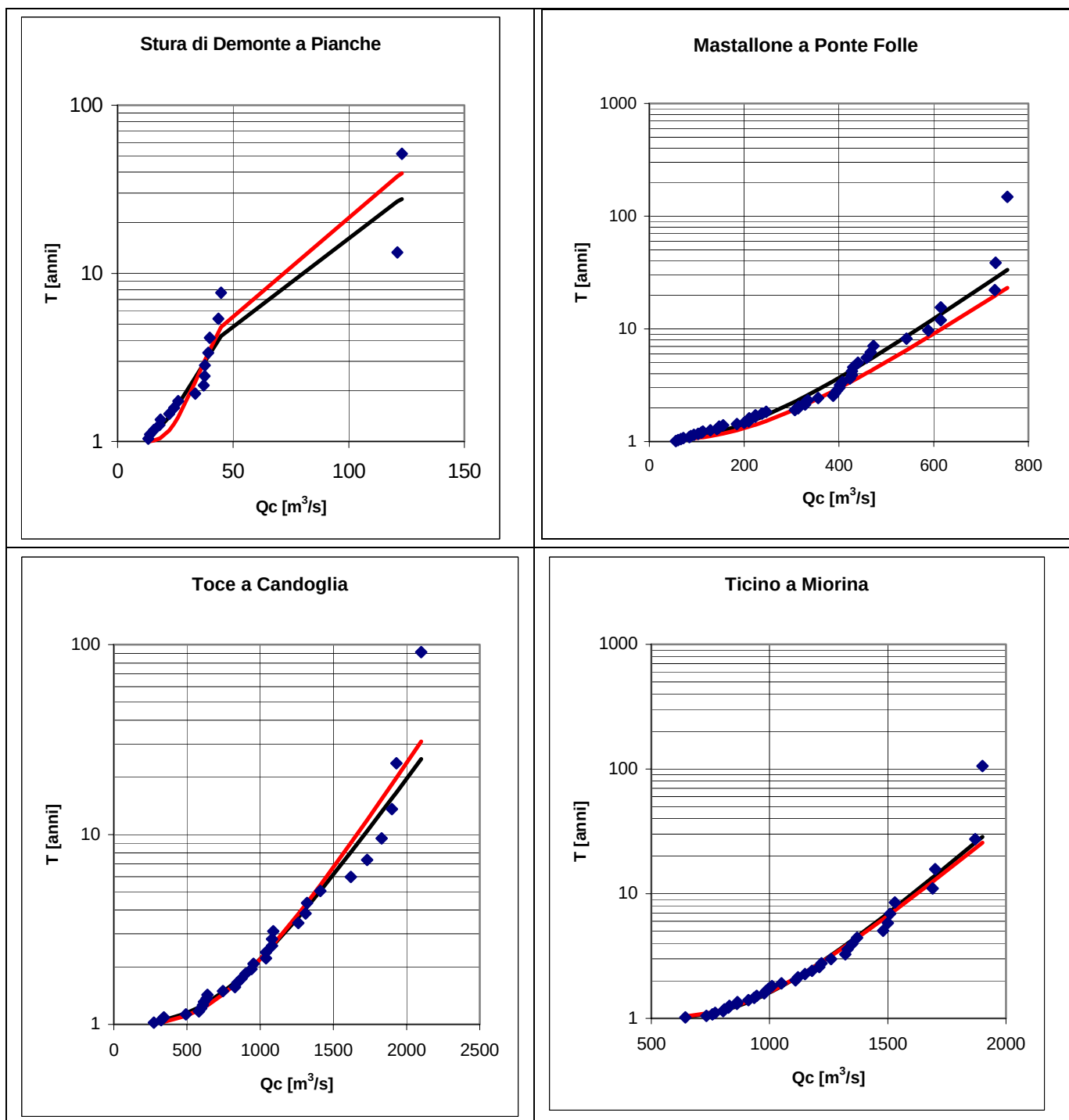


Fig. 1: Distribuzioni di probabilità cumulata delle serie osservate di portate massime annue al colmo di piena nelle stazioni con scostamento di stima positivo elevato (vedi Tab. 1)

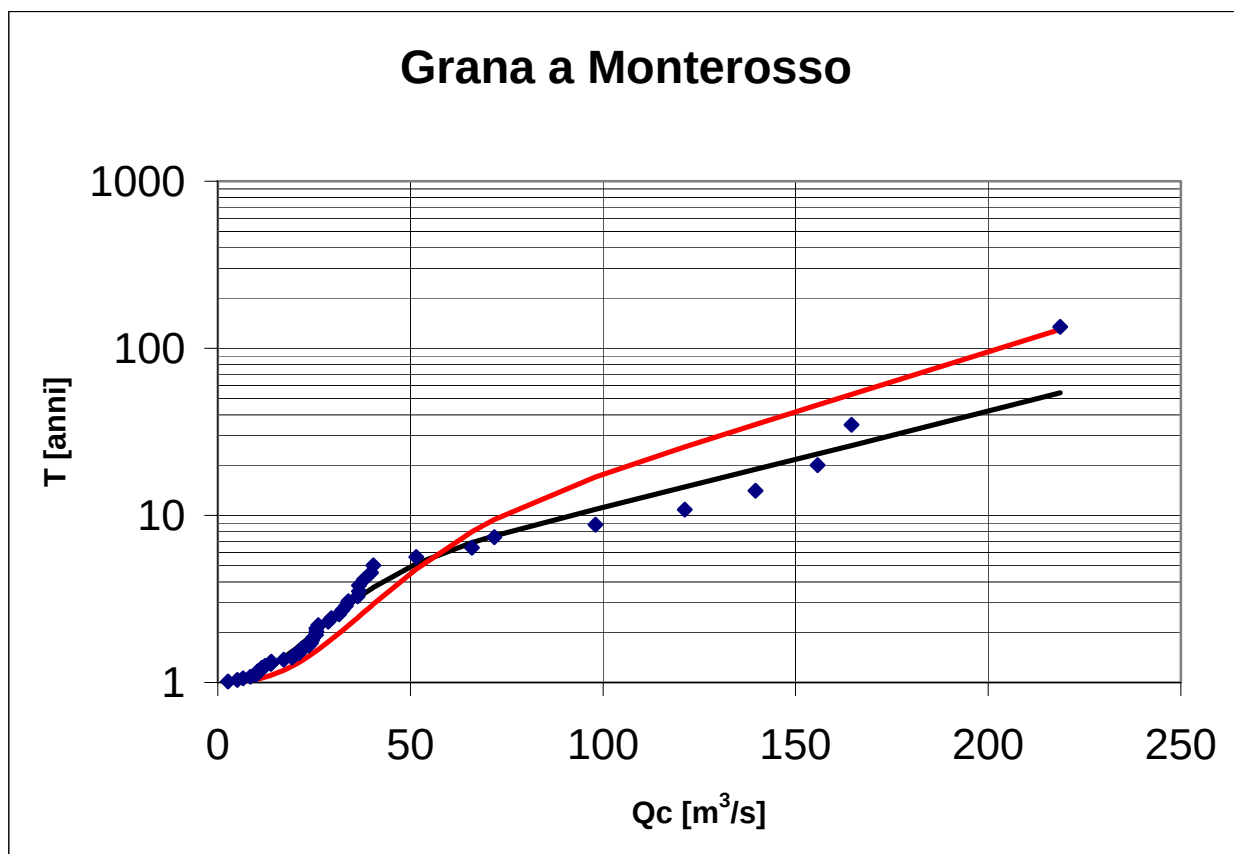


Fig. 2: Distribuzioni di probabilità cumulata delle serie osservate di portate massime annue al colmo di piena nelle stazioni con scostamento di stima negativo elevato (vedi Tab. 1)

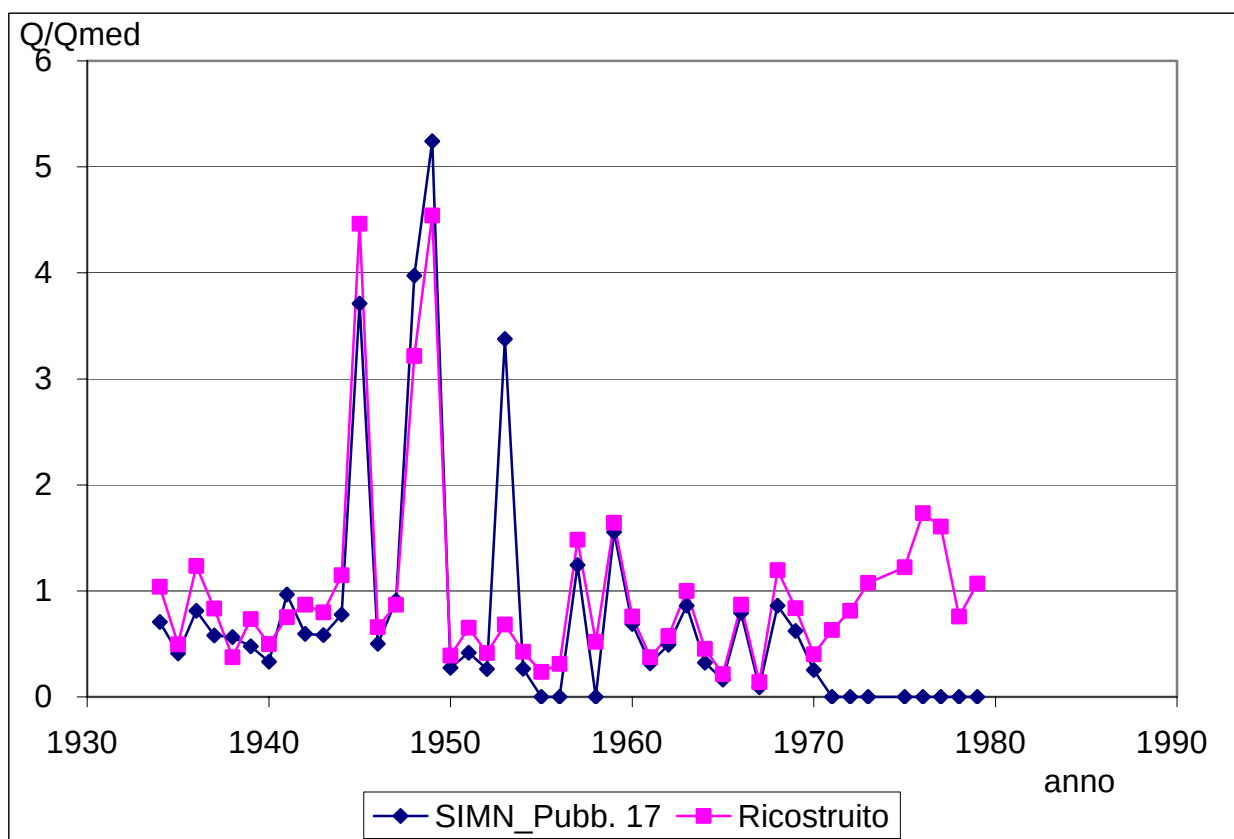


Fig. 3: serie storiche dei massimi annuali al colmo di piena per il F. Grana a Monterosso.

permangano in maniera uniforme sull'intera regione, considerando un insieme di controllo costituito da ca. 150 sezioni fluviali per le quali non erano generalmente disponibili serie storiche ma esistevano stime di esperto, fornite indipendentemente dal gruppo di lavoro che ha elaborato il modello stesso; tale insieme comprende, come sotto insieme, anche il gruppo utilizzato per la calibrazione. In tab. 2 vengono indicate le principali caratteristiche del bacino sotteso da tali sezioni ed i valori statistici tipici delle portate di piena a differente periodo di ritorno stimate da esperto: le sezioni facenti parte del sottoinsieme di calibratura hanno come stima di esperto il valore regolarizzato locale e sono evidenziate in rosso. A tale data-base è associato un data base delle linee di spartiacque di ognuno dei bacini, in formato DXF, in maniera da poter utilizzare il modello operativo nel suo formato software. Al termine di tale applicazione sono state ottenute, per ogni sezione, le stime delle portate di piena per assegnato periodo di ritorno corrispondenti a quelle stimate da esperto: esse sono riportate in Tab. 2 con il suffisso ^{nuova}.

In tal modo è possibile attribuire un errore di stima del modello pari al rapporto tra la differenza tra il valore atteso, stimato da esperto, ed il valore ottenuto come stima regionale dal modello VAPI formato software, ed il valore atteso stesso, il tutto espresso in termini di scostamento percentuale.

La valutazione delle prestazioni statistiche del modello avviene attraverso l'analisi della distribuzione dell'errore prima definito. Le caratteristiche che deve avere uno stimatore di errore perchè possa essere accettato in ambito di analisi statistiche sono:

- i) *normalità*, ovvero la sua distribuzione di probabilità deve essere del tipo definito dalla distribuzione normale o curva di Gauss;
- ii) *non distorsione*, ovvero la media della distribuzione dell'errore percentuale deve essere statisticamente nulla;
- iii) *minima varianza*, ovvero i massimi scostamenti percentuali devono essere contenuti entro limiti ristretti, che dipendono dalla grandezza che si stima e che, quindi, nel nostro caso variano a seconda del periodo di ritorno: solitamente per il valor medio si accettano intervalli di confidenza più ristretti che vanno rilassati a mano a mano che aumenta il valore del periodo di ritorno di riferimento.

Allo scopo di verificare se tali caratteristiche sono presenti nel nostro caso, in tab. 3 vengono mostrate media e deviazione standard delle distribuzioni degli scostamenti percentuali per gli stimatori delle massime portate di piena per differenti periodi di ritorno. Come si nota, la condizione (ii) di non distorsione è sicuramente verificata per la stima della piena media annua, mentre gli stimatori per periodi di ritorno più elevato mostrano una leggera tendenza alla sovrastima, come già rilevato in precedenza. Tale tendenza è però, dal punto di vista statistico, non significativo, in quanto un test di Student mostra che i valori osservati di errore medio sono statisticamente indistinguibili dallo zero. Per quel che riguarda la richiesta di (iii) minima varianza, si osserva che, in caso di distribuzioni normali, il 95% della popolazione giace all'interno di un intervallo intorno alla media pari a ca. ± 1.96 volte la deviazione standard. Considerando i valori in tab. 3, questo vuole dire, nel nostro caso, che gli scostamenti osservati non superano, generalmente il $\pm 25\%$ nel caso della stima delle portate con periodo di ritorno $T = 100$ e 200 anni, mentre possono arrivare a ca. $\pm 30\%$ nel caso della stima delle portate con periodo di ritorno $T = 300$ anni. Nel stima della piena media annua, invece, l'intervallo di confidenza è virtualmente nullo, per cui lo stimatore è senz'altro di minima varianza. In ogni caso, l'entità della variabilità dello scostamento percentuale riscontrato nei bacini esaminati è ritenuto solitamente accettabile.

Per la validazione dell'ipotesi di normalità si è adoperato un test basato sull'ispezione visiva della distribuzione in carta probabilistica normale. Si tratta, cioè, di fare un grafico in cui alle ascisse c'è lo scostamento percentuale ed alle ordinate una particolare trasformazione della frequenza cumulata, tale per cui una distribuzione normale del caso risulta disegnata come una linea retta, della quale si conoscono in anticipo le caratteristiche nota media e varianza campionarie: lo scostamento o l'adattamento dei valori osservati alla retta teorica fornisce un indice qualitativo di

validazione o meno dell'ipotesi di normalità Questo è quanto viene rappresentato nella fig. 4, in cui con i simboli + sono indicati i valori osservati degli scostamenti percentuali per ogni assegnato periodo di ritorno e con la line rossa la distribuzione normale teorica: si nota come l'adattamento sia alquanto marcato in tutti i casi, eccetto che per gli scostamenti percentuali della stima della portata media di piena, in cui si nota la solita tendenza ad una sovrastima. Tale comportamento, però, non comporta problemi eccessivi, in quanto, in valore assoluto, come si è già detto, tali scostamenti siano praticamente nulli in tutti i casi esaminati. Inoltre, lo stimatore della piena con periodo di ritorno $T = 500$ anni, risulta meno che normale, cioè lo stimatore regionale VAPI Piemonte è risultato meno variabile che se fosse distribuito casualmente e questo riduce gli errori complessivi che si possono commettere e soprattutto riduce i valori più elevati dell'errore.

In conclusione, dall'analisi del gruppo di controllo, risulta che la stima idrologica delle portate di piena sull'intero territorio esaminato possieda le caratteristiche di ottimalità richieste per questo tipo di stimatori.

Bacino	Area	Quota media	Qmedia	Qmedia nuova	Q100	Q100nuova	Q200	Q200nuova	Q500	Q500nuova
	(km ²)	(m s.l.m.)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
Orco a Cuorgnè	630	1904	485	485	2030	2155	2350	2579	2700	3141
Orco a Locana	297	2163	280	285	1200	1420	1380	1700	1630	2069
Orco a Noasca	151	2395	155	154	672	818	777	974	912	1180
Soana a Pont	214	1917	240	247	1000	1122	1150	1350	1400	1652
Soana a Ronco	154	2079	190	190	880	897	1000	1081	1250	1325
Stura di Lanzo a Torino	870	1345	630	665	2100	2271	2400	2675	2900	3228
Stura di Lanzo a Lanzo	581	1731	492	518	1714	1912	1980	2265	2360	2739
Ceronda a Venaria	171	499	210	213	750	711	850	845	1000	1029
Stura di Lanzo a Ceres	292	1906	350	336	1250	1335	1442	1585	1710	1920
Stura di Valgrande a Ceres	157	1890	240	243	880	980	1000	1169	1220	1419
Stura d'Ala a Ceres	134	1937	210	210	730	846	850	1005	1000	1215
Stura di Viù a Maddalene	230	1725	285	285	1000	1083	1150	1288	1400	1561
Malone a Front	125	636	170	171	600	670	700	808	850	994
Malone a Brandizzo	321	423	270	271	800	892	1000	1059	1300	1296
Chiusella a Strambinello	151	1275	240	239	950	1010	1100	1223	1300	1505
Chiusella a Ceres	213	986	300	286	1100	1086	1300	1313	1550	1618
Dora Baltea a Tavagnasco	3326	2080	796	775	2690	2985	3300	3529	4110	4258
Dora Baltea ad Aosta	1838	2270	330	327	1220	1442	1467	1710	1791	2066
Lys a Grassoney	98	2642	34	34	223	251	288	306	374	379
Dora Riparia a Oulx	259	2152	57	56	378	383	481	458	618	557
Dora Riparia a Beaulard	187	2193	40	38	250	250	330	299	400	363
Dora Riparia a Exilles	514	2091	90	87	500	518	650	617	850	748
Cenischia a Susa	145	1779	45	43	290	265	370	312	470	373
Dora Riparia a Susa	777	1942	117	117	600	670	720	793	890	956
Dora Riparia a S. Antonino	952	1813	126	130	635	711	770	841	956	1013
Dora Riparia a Torino	1215	1597	160	161	850	829	1000	980	1200	1179
Chisone a S. Martino	581	1706	275	278	1170	1170	1330	1402	1550	1710
Chisone a Perosa	271	1934	160	159	650	701	750	842	870	1028
Germanasca a Perosa	193	1816	180	179	750	812	850	977	1000	1196
Pellice a Luserna	214	1574	250	250	1100	1120	1200	1347	1400	1648
Sangone a Moncalieri	242	747	200	200	900	783	1000	941	1150	1152
Chisola a La Loggia	461	337	200	200	800	644	900	760	1050	926
Pellice a Villafranca	946	1512	420	428	1790	1710	2040	2045	2370	2492
Banna a Santena	361	291	160	160	480	434	560	501	675	601
Stura di Demonte a Gaiola	560	1786	110	102	600	532	730	630	900	759
Stura di Demonte a Pianche	171	2068	40	40	200	249	244	296	300	358

Rio dei Bagni a Vinadio	64	2011	24	24	189	164	226	195	276	237
Gesso della Valletta	126	1950	100	100	480	636	600	758	730	918
Gesso di Entracque	153	1800	110	108	520	652	650	776	800	939
Vermenagna a Roccavione	164	1394	110	106	550	526	650	622	800	749
Gesso a Borgo S. Dalmazzo	517	1582	200	210	1086	1074	1200	1272	1500	1532
Stura di demonte a Fossano	1248	1554	300	285	1200	1262	1400	1489	1700	1787
Grana a Monterosso	102	1495	41	40	270	171	320	201	390	241
Grana conf. Maira	375	786	100	96	500	376	600	445	750	536
Maira a Busca	569	1668	130	122	650	540	750	637	900	764
Varaita a Rossana	402	1771	140	139	670	704	800	835	974	1007
Varaita a Polonghera	607	1342	160	175	800	786	950	934	1150	1130
Maira al Po	1,110	1222	200	202	900	785	1050	924	1250	1107
Po a Gambasca	225	1471	180	173	750	882	850	1048	1000	1267
Po a Villafranca	639	766	340	314	1300	1214	1500	1453	1800	1769
Po a Lombriasco	3,480	1169	800	793	2750	2760	3000	3259	3400	3924
Po a Moncalieri	4,989	902	850	936	2900	2975	3200	3503	3600	4221
Po a S.Mauro T.	7,398	1063	1500	1348	5400	4551	6000	5366	7000	6464
Po a Chivasso	8,622	1049	2100	1665	7000	5545	8000	6536	9500	7873
Po a Crescentino	13,020	1254	2400	2310	8500	7750	10000	9122	12500	10984
Maira ad Acceglio	108	2301	42	42	270	247	327	293	400	355
Maira a Stroppio	333	2024	100	96	500	462	600	546	750	656
Po a Crissolo	36	2060.17	36	36	213	206	248	245	294	297
Mastallone a Varallo	147	1352	350	350	1023	1442	1140	1729	1300	2111
Sesia a Campertogno	170	2056.8	161	162	860	787	1010	949	1210	1163
Sesia a Ponte Aranco	696	1495.8								
Sesia a Ponte Aranco	696	1495.8	780	732	2860	2862	3200	3420	3706	4164
Sessera a Pray	126	1134.7	300	300	1000	1154	1150	1385	1350	1692
Cervo a Biella	129	1294	250	251	950	1040	1100	1253	1300	1534
Cervo a Balocco	552	683	540	611	1900	1963	2100	2322	2400	2831
Elvo a Carisio	262	610	300	301	1070	956	1200	1130	1400	1381
Cervo a Quinto V.	999	506	600	634	2050	1877	2300	2173	2650	2605
Sesia a Romagnano	985	1307	900	877	3300	3160	3700	3763	4200	4577
Sesia a Vercelli	2,587	736	1250	1251	4400	3695	4900	4267	5600	5089
Sermenza a Balmuccia	139	1659.4	240	240	1050	999	1200	1197	1400	1460
Agogna a Borgomanero	64	630	140	134	530	419	600	494	700	604
Agogna a Novara	267	382	170	172	700	512	800	597	923	723
Terdoppio	148	250	110	99	390	289	450	339	530	411
Melezzo orientale	140	1352.2	334	325	1244	1038	1417	1226	1698	1502
Toce a Candoglia	1,532	1654	1080		2920		3230		3650	
Toce a Candoglia	1,532	1654	1080	1112	3300	3764	3700	4459	4300	5407
Melezzo occidentale a Masera	54	1155.6	160	160	580	520	650	615	780	754
Isorno a Pontetto	70	1706.8	140	140	540	437	600	516	720	631
Bogna a Domodossola	81	1567.5	190	190	750	769	850	920	1000	1120
Diveria a Crevola	311	1952	300	295	1150	1283	1350	1540	1600	1879
Cairasca a Trasquera	75	2110	110	109	440	492	500	592	600	723
Toce a Baceno	201	2108	180	179	700	730	800	883	950	1085
Devero a Baceno	102	2028.5	140	140	550	588	600	704	680	858
Toce a Pontemaglio	359	1958	300	292	1050	1139	1200	1369	1400	1675
Toce a Masera	780	1910	600	532	2200	1960	2500	2346	2900	2861
Ovesca a Villadossola	145	1726	220	220	900	967	1000	1161	1160	1418
Anza a Piedimulera	257	1710	325	325	1350	1472	1600	1770	1850	2164
Niguglia a Omegna	115	621								
Strona a Omegna	84	1263	280	280	1000	1030	1200	1240	1450	1532

Strona a Gravellona	108	681								
Cannobino	103	1065	330	312	1060	993	1300	1170	1600	1431
S.Giovanni	58	1001	200	184	750	604	850	714	1000	876
S.Bernardino	128	1229	370	360	1500	1188	1700	1403	2000	1719
Ticino alla Miorina	6,599	1283	1277	2023	3900	5691	4670	6496	5860	7653
Tanaro a Ponte di Nava	134	1635.9	152	151	785	872	950	1037	1170	1255
Tanaro a Ormea	189	1481	180	168	960	911	1150	1081	1380	1306
Tanaro a Garessio	248	1432.2	220	199	1150	1063	1300	1262	1600	1524
Tanaro a Nucetto	384	1175.4	264	278	1380	1370	1600	1622	1950	1955
Tanaro a Ceva	466	1072	320	323	1670	1549	1975	1833	2380	2209
Tanaro a Piantorre	499	1057	350	342	1820	1650	2160	1953	2610	2353
Pesio a Chiusa	97	0		129		656		777		936
Pesio a Carrù	314	0		249		1080		1280		1544
Ellero a Mondovì	178	1057	170	170		833		988		1194
Corsaglia a P. Molline	88	0	36							
Corsaglia a Torre Mond.	141	1188	150	128	780	649	940	770	1150	929
Corsaglia a Leseugno	303	1029		295		1407		1666		2007
Tanaro a Farigliano	1,508	921	730	767	3000	3104	3800	3666	4800	4409
Tanaro ad Alba	3,452	1038	900	944	3500	3472	4400	4088	5600	4902
Borbore ad Asti	510	231	200	200	600	538	700	619	900	738
Versa ad Asti	203	210	100	100	320	278	370	324	470	390
Belbo a Borgomale	97	629	155	154	450	554	510	666	600	819
Belbo a S.Stefano	181	538	260	252	750	887	850	1063	1000	1305
Belbo a Canelli	259	467	320	312	880	1055	980	1259	1150	1543
Belbo a Castelnuovo	442	360	470	418	1390	1472	1550	1758	1750	2148
Bormida di Spigno a Ferrania	52	572	211	210	916	875	1044	1049	1214	1279
Bormida di Spigno a Ferrania	52	572	180	210	800	875	900	1049	1050	1279
Bormida di Spigno a Piana Crixia	247	500	350	339	1530	1405	1750	1683	2030	2053
Bormida di Spigno a Mombaldone	392	479	450	432	1950	1778	2230	2129	2600	2595
Bormida di Millesimo a Murialdo	121	890	210	210	920	887	1050	1061	1220	1291
Uzzone a Cortemilia	81	544	150	141	640	596	730	715	850	873
Bormida di Millesimo a Camerana	254	761	330	318	1450	1300	1650	1555	1920	1892
Bormida di Millesimo a Cortemilia	426	660	420	398	1800	1581	2050	1889	2350	2299
Bormida di Millesimo a Bistagno	545	596	460	441	2000	1729	2300	2065	2650	2511
Bormida a Bistagno	1,010	537	670	699	2700	2655	3000	3162	3800	3840
Bormida ad Acqui	1,281	519	800	871	3200	3295	3600	3916	4200	4749
Bormida ad Cassine	1,508	482	850	905	3300	3417	3800	4054	4400	4909
Erro a Sassello	93	586	230	230	900	1049	1030	1252	1200	1520
Erro a Cartosio	212	527	380	368	1500	1655	1720	1973	2000	2394
Erro in Bormida	254	493	400	380	1600	1695	1800	2024	2100	2458
Orba a Ovada	194	564	460	460	1800	2083	2050	2463	2400	2964
Stura a Ovada	127	573	370	368	1450	1683	1660	1990	1940	2395
Piota a Silvano	109	540	320	319	1275	1462	1460	1729	1700	2082
Orba a Silvano	449	548	760	724	2900	3175	3200	3748	3700	4507
Lemme a Basaluzzo	175	362	360	356	1400	1406	1600	1898	1850	2284
Orba a Casal Cermelli	798	430	930	978	3500	4124	4000	4862	4800	5840

Borbera a Baracche	204	896	270	266	1200	1065	1350	1251	1570	1498
Borbera a Cabella	101	1036	180	188	800	753	900	886	1050	1060
Borbera a Vignola	245	799	310	307	1370	1232	1550	1448	1800	1735
Scivia a Serravalle	619	708	741	687	2920	2636	3350	3094	3910	3700
Scivia ad Arquata	289	681	550	484	2200	1918	2500	2255	2900	2701
Scivia a Ronco	196	699	420	436	1700	1721	1950	2024	2270	2424
Vobbia a Isola	60	750	120	123	480	514	540	605	640	725
Ossona a Tortona	42	220	85	86	370	370	425	437	500	526
Grue a Castelnuovo	103	263	150	150	660	625	750	740	880	892
Scivia a Tortona	711	655	750	745	2950	2858	3400	3353	4000	4010
Scivia a Guazzora	954	537	800	833	3200	3131	3600	3675	4200	4398
Curone a Volpedo	154	637	200	197	880	808	1000	952	1150	1143

Tab. 2: principali caratteristiche geometriche ed idrometriche delle sezioni del gruppo di controllo

	Scost.Qm	Scost.Q100	Scost.Q200	Scost.Q500
Media (%)	-0.01	0.43	3.00	4.82
Dev.St (%)	0.07	12.91	13.67	15.03

Tab. 3: principali caratteristiche statistiche delle distribuzioni degli scostamenti percentuali

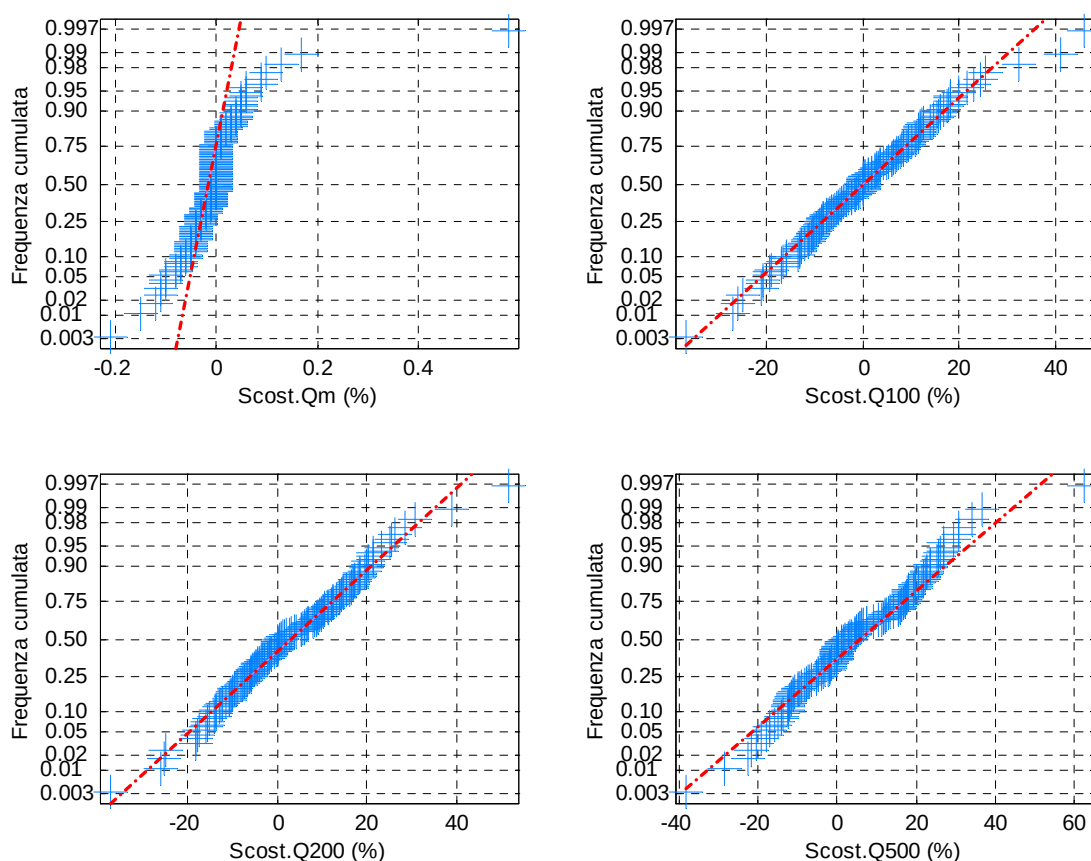


Fig. 4: rappresentazione in carta probabilistica normale delle distribuzioni degli scostamenti percentuali delle stime delle massime portate di piena a differenti periodi di ritorno

2. Campo di validità del VAPI

Nel lavoro presentato dal CNR-CUGRI si è tentata un'analisi delle prestazioni statistiche del Modello VAPI Piemonte a diversi anni dalla sua prima presentazione, avvenuta nel 1996 e successivamente aggiornata nel 1999 e nel 2002. In particolare, sono state presentate le motivazioni che hanno condotto alla caratterizzazione attuale del modello, attraverso l'analisi delle serie storiche osservate dei massimi annuali delle portate al colmo di piena: in tal modo sono stati chiaramente illustrati i limiti di applicazione del modello ed i limiti di significatività del cosiddetto *dato osservato*. Successivamente è stata presentata una estesa analisi statistica delle prestazioni del modello all'intera Regione Piemonte ed è stata fatta un'analisi a posteriori su un data base reale di casi di studio ottenuti da studi e pareri istituzionali indipendenti dal gruppo che ha elaborato il presente studio. Entrambe queste analisi mostrano come il modello proposto abbia prestazioni soddisfacenti ai fini istituzionali della Regione Piemonte, ed in particolare nella fase di formazione di un parere di congruità con i valori assunti alla base delle proposte di progetto.

Un'ultima osservazione si riferisce alla rappresentatività del campione di bacini preso in considerazione: come si può osservare, i bacini strumentati dal Servizio Idrografico hanno dimensioni che vanno dalle diverse decine alle diverse centinaia di km², con un valor medio di 862 km², e quote medie quasi sempre superiori agli 800 m s.l.m.m., con un valor medio di 1639 m s.l.m.m., per cui le analisi che si effettuano su di essi e le conclusioni che se ne possono trarre devono tenere presente che l'ambiente di riferimento non è del tutto generale ma è limitato entro questi ambiti. In particolare, i risultati che si ottengono con il modello VAPI debbono considerarsi puramente orientativi nel caso di piccoli (pochi km²) bacini di alta montagna, a causa della significativa dipendenza del loro bilancio di trasformazione afflussi-deflussi di piena dalla fenomenologia periglaciale e dalle singole, particolari situazioni geologiche ed idrogeologiche. All'altro estremo, debbono ritenersi puramente indicativi, i risultati del modello VAPI per piccoli bacini di pianura (**inferiori a circa 100 km²**) a causa della significativa dipendenza del loro bilancio di trasformazione afflussi-deflussi di piena dalle caratteristiche singole del reticolo di drenaggio. In definitiva, per i piccoli bacini, a causa della dipendenza del fenomeno di formazione delle piene da fattori locali, si consiglia di adoperare il modello VAPI per avere una stima delle principali caratteristiche climatiche di piovosità e, nel caso si ritenga di avere a che fare con portate di piena causate da intensi eventi pluviali, utilizzare i risultati del modello VAPI anche in termini di portate come prima indicazione, valutando i diversi fattori locali che possono differire dai valori medi ed addivenire ad una differente stima delle piene di progetto.

Nelle successive figure 5 e 6 vengono riportati i valori medi dei parametri del modello di stima della piena media annua che ci si attende su scala regionale per i diversi complessi geologici presi in considerazione, in maniera da permetterne un confronto con le caratteristiche della risposta locale che ci si attende per piccoli bacini sulla base di informazioni ed indagini in situ. Le informazioni geologiche di base sono state tratte dagli accorpamenti riportati sulla Carta Geologica d'Italia in scala 1:500.000, a cui si fa riferimento per la nomenclatura delle classi: esse sono riportate anche in tabella 1 per una migliore comprensione. Sia dal grafico, sia dalla tabella n. 1, si può osservare come i complessi A, B, C ed I1 siano caratteristici delle aree a permeabilità medio-alta, i complessi D, E ed H rappresentano le aree a permeabilità medio-bassa; il complesso F delle aree mediamente permeabili. Il complesso G denota invece una notevole eterogeneità così come la frazione I2 anche se quest'ultima è presente nell'area di studio in percentuale quasi nulla come si evince dal grafico in figura 6.

Codice	Complesso	c (m/s)
1	Complesso argilloso Complesso Argilloso marnoso arenaceo	3.5
2	Complesso Arenaceo Arenaceo Marnoso Complesso arenaceo marnoso Complesso marnoso arenaceo	3-3.5
3	Alluvioni ferrettizzate Complesso Alluvionale argilloso Complesso Loessico Complesso Sabbioso marnoso arenaceo	2-3.5
4	Complesso Alluvionale Complesso conglomeratico Complesso conglomeratico arenaceo Complesso detritico Complesso milonitico Complesso Sabbioso Complesso Sabbioso conglomeratico	1.4-3.5
5	Complesso metamorfico scistoso Complesso Metamorfico senso latu Complesso Metamorfico, Metamorfico Scistoso Complesso Quarzitico Metamorfico Scistoso Complessso metamorfico	0.50-3.5
6	Complesso Morenico	0.5-3
7	Complesso Magmatico Complesso Quarzitico	0.5-3
8	Complesso Calcarea + scisti Complesso calcarea marnoso	0.8-3.5
9	Complesso Calcarea Complesso calcarea dolomitico	0.5-1

Tab. 4: valori attesi della celerità di piena c per i differenti complessi geologici individuati (Carta Geologica d'Italia in scala 1:500.000)

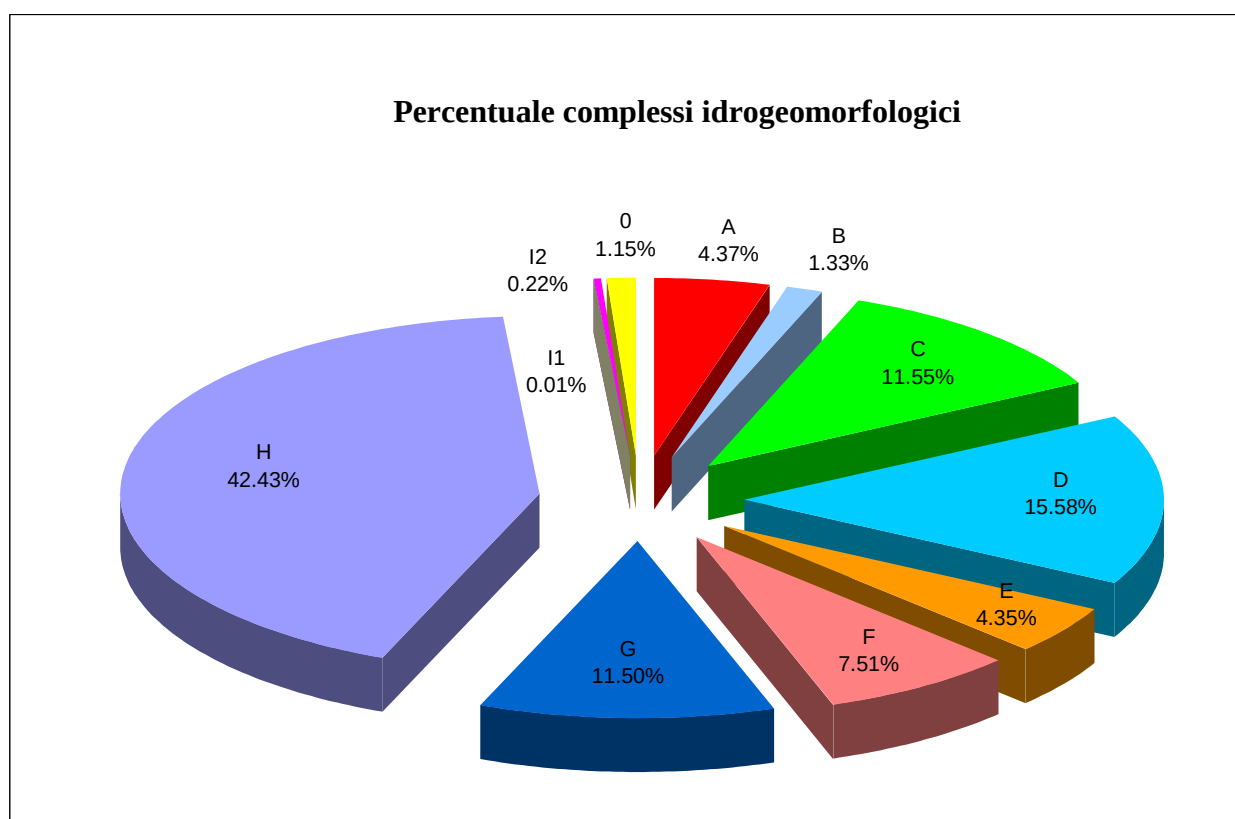


Fig. 5: Percentuale di presenza sul territorio regionale dei differenti complessi idrogeologici identificati sulla base della classificazione della Carta Geologica d'Italia (scala 1:500.000)

3 Interfaccia col PAI.

3.1 Utilizzo del VAPI ai fini pianificatori.

Come noto, è stato condotta dall'Autorità di Bacino el fiume Po un'analisi idrologica su alcuni dei corsi d'acqua Piemontesi, grazie alla quale sono state definite le portate al colmo di Piena per differenti tempi di ritorno. Queste portate di piena sono contenute nella *Direttiva piena di progetto*, e nelle varianti al PAI.

Fermo restando le determinazioni dell'Autorità, come riferimento agli scopi pianificatori, è di interesse generale, per la pianificazione della difesa del suolo, la quantificazione, su ampi bacini idrografici, delle portate di piena dei corsi d'acqua per assegnato tempo di ritorno, al fine di fornire uno scenario idrologico omogeneo sul territorio, utile alla quantificazione e alla riduzione del rischio da alluvione.

Al contrario il solo riferimento a valutazioni idrologiche condotte alla scala locale può portare alla definizione di un quadro di dissesto spiccatamente eterogeneo e pertanto difficilmente gestibile nella pianificazione della difesa del territorio.

Se, da una parte, i sistemi di valutazione di tipi regionale e geostatistico possono fornire stime utili per la pianificazione, ovvero valori di prima approssimazione, dall'altro la programmazione e la realizzazione degli interventi necessita di valutazioni locali anche molto raffinate.

Infatti se, dal punto di vista teorico, dato una bacino idrografico sotteso ad una certa sezione di chiusura, ad N modelli idrologici possono essere associate N valutazioni di portata idrologica di piena (ciascuna, se teoricamente e coerentemente valutata, con un proprio grado di affidabilità), dal punto di vista pratico è sconsigliabile il riferimento ad una messe di valori che lasciano margini di grande incertezza. Nella letteratura scientifica si propongono pertanto modelli idrologici, come il VAPI, che possono essere di riferimento, sia per il loro elevato grado di affidabilità, sia perché essi forniscono valori di portata utili all'Amministrazione per le valutazioni di rischio e pericolosità sul territorio finalizzate alla previsione.

E' tecnicamente noto che le valutazioni condotte alla scala locale (singoli Comuni etc.) possono differire dalle valutazioni VAPI, anche in modo vistoso. Tali discordanze nei risultati modellistici sono da imputarsi alle incertezze proprie nei modelli idrologici proposti in letteratura, che possono raggiungere valori percentuali elevati. Le incertezze modellistiche idrologiche, in generale sono dovute:

1. alla schematizzazione dei processi fisici rilevanti, di elevata complessità e non linearità, in natura, ed estremamente semplificati nei modelli
2. alla parametrizzazione dei processi, in cui sia la fisicità del fenomeno sia le esigenze di calibrazione devono essere contemplate;
3. alla valutazione dei dati di input, generalmente rappresentati dalle precipitazioni, di cui viene semplificata sia la distribuzione spazio-temporale sia il volume totale.

e sono condivise anche dal modello VAPI messo a punto dall'Università di Salerno.

Dal punto di vista amministrativo, si pone allora la questione non di “quale” sia il metodo più affidabile in senso assoluto, bensì a.) quali siano le incertezze tra modelli b) quali incertezze di stima siano o non siano accettabili, per l'amministrazione, rispetto ad un valore di riferimento.

A tal fine, occorre preliminarmente discutere le incertezze modellistiche del metodo proposto dal CNR CUGRI per poi discutere il livello (o i livelli di affidabilità) di stime rispetto al VAPI.

3.2 Incertezze modellistiche del VAPI

Le incertezze proprie dei modelli idrologici sono condivise anche dal modello VAPI messo a punto dall'Università di Salerno.

Evidentemente è improduttivo, ai fini pianificatori, discutere dell'incertezza di una stima modellistica rispetto al valore di $Q(T)$ che si otterrebbe dall'inferenza statistica degli infiniti valori di Q a disposizione in una certa sezione di chiusura, in quanto ciò è possibile solo se si conoscesse la CFD (distribuzione di probabilità cumulata) delle Q nella sezione di interesse. In tal caso non sarebbe neanche necessario effettuare una stima da nodello, in quanto si disporrebbe già del valore cercato.

E' possibile invece effettuare un'analisi comparata degli scarti dei risultati del modello rispetto a quelli ottenuti da altri modelli, ovvero un confronto tra performance modellistiche. L'incertezza delle stime ottenute dall'applicazione di un certo modello è quindi da intendersi in senso *relativo*, in quanto riferita ad un altro campione di stime.

3.3 Incertezze modellistiche del VAPI a confronto con i valori dell'Autorità di Bacino

La valutazione dell'*incertezza relativa* della stima del VAPI, va necessariamente operata nei riguardi di un insieme "omogeneo" di stime. L'omogeneità è qui intesa dal punto di vista metodologico, ovvero fa riferimento all'uniformità di trattamento modellistico con cui le stime sono operate. Generalmente le stime idrologiche presenti sul territorio sono il frutto del lavoro di operatori differenti, con sensibilità al problema, metodi, esperienze, dissimili e pertanto esse non possono rappresentare un campione omogeneo.

Al contrario un campione di tale caratteristiche è rappresentato dai valori di stime idrologiche effettuate dell'Autorità di Bacino del fiume Po, contenute nella Direttiva Piena di progetto e nei progetti di variante alle fasce fluviali. Rispetto ad esso, è possibile confrontare le stime idrologiche del VAPI. A tal fine è stata proposta una procedura che si basa sullo scarto udometrico (di modello) tra stime VAPI e stime dell'Autorità di Bacino, calcolato nel seguente modo:

$$scarto.udometrico = \Delta u_{mod} = \left| \frac{Q_{VAPI200}}{A} - \frac{Q_{AdB200}}{A} \right| \quad (1)$$

Parimenti è possibile effettuare un confronto tra stima del modello VAPI e stime all'idrometro:

$$scarto.udometrico.idrometro = \Delta u_{idrom} = \left| \frac{Q_{VAPI200}}{A} - \frac{Q_{idrometro200}}{A} \right| \quad (2)$$

con:

$Q_{VAPI200}$: stima della portata duecentennale secondo il VAPI;

Q_{AdB200} : stima della portata duecentennale secondo l'autorità di Bacino;

$Q_{idrometro200}$: stima della portata duecentennale effettuata con i dati all'idrometro.

Il riferimento al tempo di ritorno duecentennale è dovuto alla finalità dello stesso confronto, ovvero la pianificazione del territorio, condotta, tranne alcuni casi sporadici, con riferimento alla Q_{200} .

Dal confronto, effettuato dalla Direzione Difesa del Suolo, sia tra stime idrologiche sia tra stime e valori all'idrometro, sembra che gli scarti Δu_{idrom} e Δu_{mod} si possano comprendere, in tutto o in parte, entro range di variazione limitati, nel range $[0; 3.8]$.

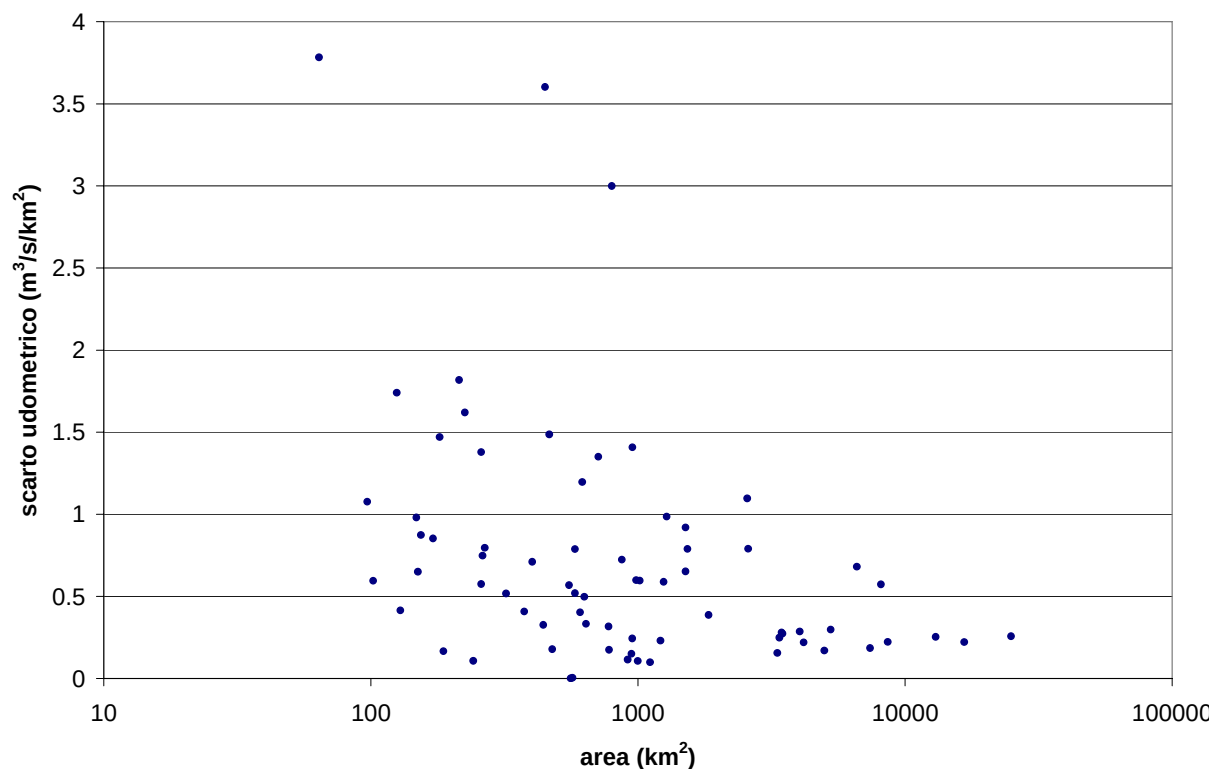


Figura1. Scarti udometrici Δu_{mod} tra stime idrologiche.

E' possibile individuare curve, maggioranti, che sottendano l'intero set di punti o parte di essi, allo scopo di individuare analiticamente, nel campione rappresentato dalle espressioni (1) e (2), la tendenza di Δu_{mod} ovvero di Δu_{idrom} .

Le curve sono del tipo seguente:

$$Scarto.udometrico = \frac{a}{A^b + c}$$

Per la stima dei coefficienti a, b, c, dell'equazione sopra scritta, è stato adottato un criterio di scelta, in base al quale il modello è stato tarato. Si ottengono allora le seguenti curve:

- ❑ una curva "TUD-95"⁽²⁾, ad andamento monotono decrescente, che sottende almeno il 95% dei punti del campione degli scarti di stime di modello Δu_{mod} e il 100% degli scarti tra stime tra modello e idrometro Δu_{idrom} ;
- ❑ una curva "TUD-80", ad andamento monotono decrescente, che sottende almeno il 80% dei punti del campione degli scarti di stime di modello Δu_{mod} e il 100% degli scarti tra stime tra modello e idrometro Δu_{idrom} ;
- ❑ una curva "TUD-50", ad andamento monotono decrescente, che sottende almeno il 50% dei punti del campione degli scarti di stime di modello Δu_{mod} e almeno l'85% degli scarti tra stime tra modello e idrometro Δu_{idrom} ;

Ne risulta:

	<i>Curva "TUD-95"</i>	<i>Curva "TUD-80"</i>	<i>Curva "TUD-50"</i>
"a"	1200	2200	880
"b"	0.8	0.9	0.9
"c"	500	1500	1000

L'approccio seguito è di utilità dal punto di vista amministrativo per le valutazioni delle stime di portata a $Tr=200$ anni, operate con altre metodologie e modelli.

3.4 Conclusioni

Da quanto esposto si possono tratte le seguenti conclusioni.

L'approccio proposto al §3.3 mostra un indubbio adattamento sia all'insieme campionario di stime rappresentato dai valori di portata proposti dall'Autorità di Bacino del fiume Po, sia ai valori di portata stimati all'idrometro.

Si noti che il metodo fa riferimento esclusivamente alla differenza tra scarti di udometrici e non fornisce indicazioni sul valore udometrico della Q_{200} . Generalmente i valori delle stime udometriche u_{200} della portata duecentennale del modello VAPI sono superiori a:

$$u_{200} > 20A^{-0.5} \quad \text{con } 100 \text{ Km}^2 < A < 1000 \text{ Km}^2$$

Il metodo soffre di alcuni limiti, evidenti dal punto di vista teorico e pratico. Il principale consiste nel fatto che l'ottenimento delle curve è basato esclusivamente dal confronto tra stime VAPI e Autorità di bacino e tra stime VAPI e dati all'idrometro.

3.5 Considerazioni applicative

Ciascuna delle curve TUD può essere assunta come limite di affidabilità o meno dell'incertezza di stima di una portata idrologica (condotta alla scala locale) rispetto a un valore di riferimento (VAPI). Le curve sono state denominate T.U.D., dall'acronimo ***Threshold of Udometric Deviance***.

2. L'acronimo deriva dall'inglese: *Threshold of Udometric Deviance*., come verrà discusso in seguito.

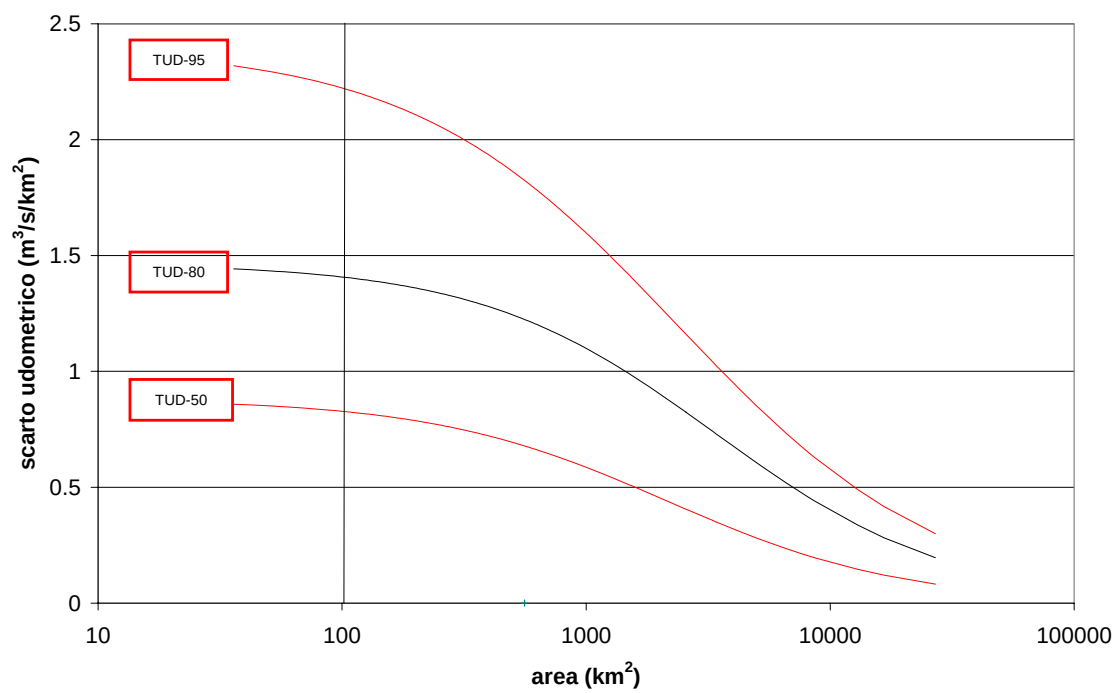


Figura 2. Andamento delle curve TUD

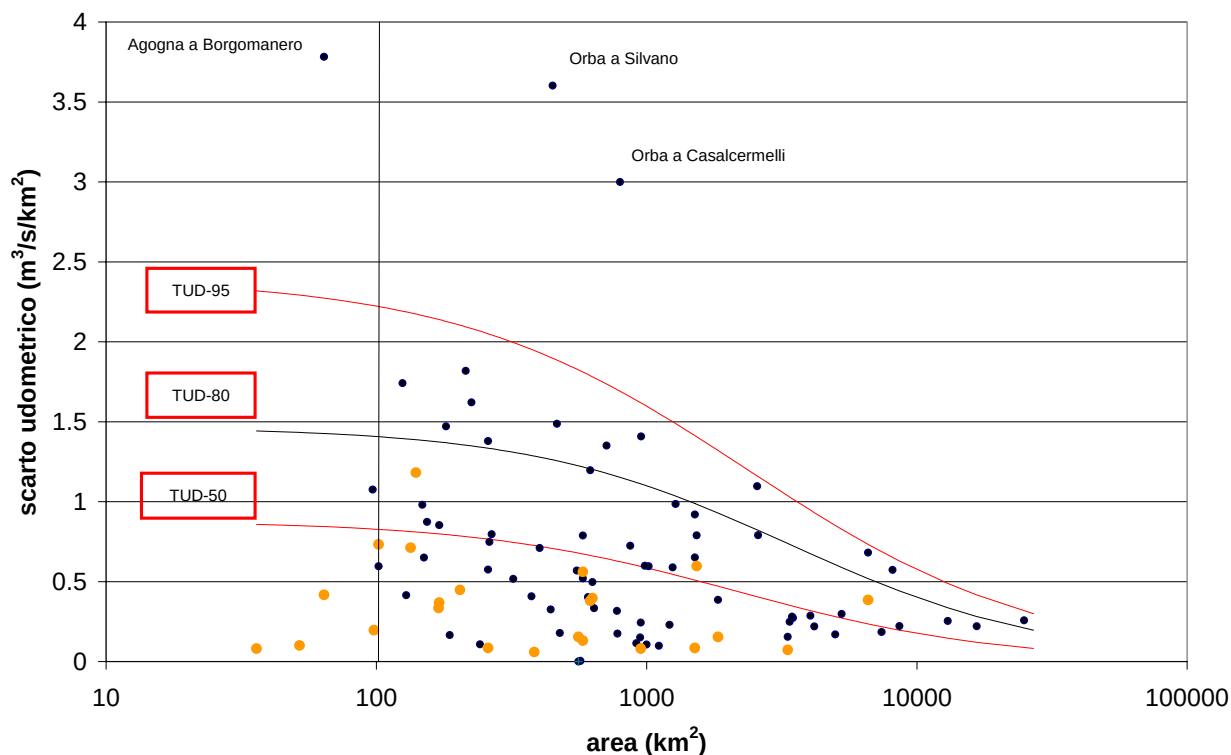


Figura 3. Andamento delle curve TUD. In nero, i punti Δu_{mod} e in arancione i punti Δu_{idrom}

L'utilizzo di queste curve per la difesa del suolo è il seguente.

- ❑ Se si assume come *threshold* la curva *TUD-95*, implicitamente si ammette che siano affidabili, a livello idrologico, scarti tra valutazioni locali e valutazioni VAPI (in valore assoluto) compresi tra 0 e 2.2 per i bacini di 100 km² e circa tra 0 e 0.3 per i bacini di circa 25000 km². Per tutti i casi di aree intermedie tra 100 km² e 25000 km², il valore limite inferiore è ovviamente 0 e il valore superiore è dato dalla curva *TUD-95*.
- ❑ Se si assume come *threshold* la curva *TUD-80*, implicitamente si ammette che siano affidabili, a livello idrologico, scarti tra valutazioni locali e valutazioni VAPI (in valore assoluto) compresi circa tra 0 e 1.4 per i bacini di 100 km² e circa tra 0 e 0.19 per i bacini di circa 25000 km². Per tutti i casi di aree intermedie tra 100 km² e 25000 km², il valore limite inferiore è ovviamente 0 e il valore superiore è dato dalla curva *TUD-80*.
- ❑ Se si assume come *threshold* la curva *TUD-50*, implicitamente si ammette che siano affidabili, a livello idrologico, scarti tra valutazioni locali e valutazioni VAPI (in valore assoluto) compresi circa tra 0 e 0.82 per i bacini di 100 km² e circa tra 0 e 0.08 per i bacini di circa 25000 km². Per tutti i casi di aree intermedie tra 100 km² e 25000 km², il valore limite inferiore è ovviamente 0 e il valore superiore è dato dalla curva *TUD-50*.
- ❑ Se si assume come *threshold* l'asse delle x, si impone, sostanzialmente, che il valore di riferimento sia la stima del VAPI, in modo rigido.

La scelta del threshold di riferimento e, conseguentemente dello scostamento rispetto alle stime VAPI, deve essere operata in funzione delle caratteristiche del bacino considerato.