

AUTORITA' DI BACINO NAZIONALE DELL'ADIGE
Largo Porta Nuova, 9 – 38100 TRENTO

**INDIVIDUAZIONE DEGLI INTERVENTI NECESSARI ALLA
RIDUZIONE DEI COLMI DI PIENA DEL T. AVISIO**

ESAME CRITICO DEGLI STUDI IDROLOGICI PREGRESSI

IDRO S.r.l.

Sede: Via Vigilio Inama 7 – 20133 Milano

Tel: 02 70120918 - Fax: 02 70120923

Unità locale: Strada F. Cavallotti 16 – 43100 Parma

Tel: 0521 508419 - Fax: 0521 221022

Indice

1.	Premessa.....	3
2.	Le stime idrologiche nel XIX secolo.....	4
3.	Le indicazioni della Conferenza dell'Adige e della Commissione Interministeriale "De Marchi".....	6
	Il Piano del Magistrato delle Acque e la Conferenza dell'Adige	6
	La Commissione De Marchi.....	7
4.	Gli studi preparatori ed il progetto della diga di Valda.....	9
	Il progetto AGSM.....	9
	Lo studio Cola-Veronese	9
	Il progetto della Diga di Valda	11
5.	Lo studio Alpha Cygni del 1997.....	14
6.	Lo studio idrologico ad integrazione dello Studio di Impatto Ambientale della PAT del 2002.	16
7.	Conclusioni	19
8.	Bibliografia	22

1. Premessa

Nel presente elaborato vengono presi in esame gli studi idrologici sulle piene dell'Avisio maggiormente significativi, in relazione alla individuazione di interventi strutturali e non strutturali necessari al controllo delle piene del fiume.

Gli studi esaminati si possono ricondurre a due principali filoni. Il primo è quello che, attivatosi sulla scia delle indicazioni del Piano di Sistemazione dell'Avisio predisposto dal Magistrato delle Acque negli anni '30 sollecitato dai disastri provocati dalle piene dell'Adige del 1926 e 1928, e rivitalizzato nelle conclusioni della Commissione Interministeriale per lo Studio della Sistemazione Idraulica e della Difesa del Suolo, nota come *Commissione "De Marchi"* dal nome del suo autorevole presidente. Dalle indicazioni di questa relazione hanno avuto origine negli anni settanta diverse attività di studio che hanno condotto alla redazione del progetto esecutivo dell'invaso di Valda (PAT, 1993) del volume totale di 64 milioni di m³, 46 dei quali destinati non alla laminazione, da realizzare attraverso la costruzione di una diga alta 132 m.

In quanto segue, vengono messi in evidenza i punti di forza, i punti deboli delle metodologie adottate e le lacune delle informazioni utilizzate. Molte di queste informazioni sono conosciute agli addetti ai lavori, e potranno perciò apparire ripetizioni di cose note, ma pensando che questo studio possa essere destinato anche a lettori non avvezzi alle vicende della sistemazione idraulica del Torrente Avisio si cercherà di essere il più possibile completi, mantenendosi sintetici.

2. Le stime idrologiche nel XIX secolo

Gli studiosi ed i tecnici che, da almeno due secoli, si sono occupati dei problemi delle piene dell'Adige e dei suoi affluenti, hanno individuato nel Torrente Avisio uno dei tributari che, per varie ragioni, è tra le prime cause dell'elevato rischio idraulico cui è soggetta l'asta dell'Adige a valle di Lavis.

Il carattere torrentizio delle sue piene, con fasi di crescita rapida delle portate, la velocità elevata della corrente, il trasporto di ingenti volumi di materiale solido, le modalità di immissione nell'Adige, in una direzione quasi perpendicolare al corso del fiume recettore, e con lo sbocco parzialmente ostruito da "ischie" coperte di vegetazione, fanno sì che le piene dell'Adige nel suo medio e basso corso siano fortemente influenzate da quelle del suo ultimo significativo tributario prima dell'ingresso in Trento.

Per questo motivo, a cominciare con la seduta del 4 novembre 1819 del Consiglio Aulico dei Lavori Pubblici del governo asburgico, si pose l'accento sulla necessità di dare inizio alla sistemazione dei torrenti *"all'interno delle valli mediante la costruzione di serre, migliorando la silvicoltura ed estendendo le superfici boscate in quanto l'ulteriore regolazione del fiume è sostanzialmente subordinato a questi principi"* (in P.A.B., 1981). Fu questo un appunto ai progetti di regolazione dell'asta di fondovalle dell'Adige, cardine del progetto di sistemazione idraulica dell'ing. Novak del 1805. Di fatto si pose mano alla sistemazione delle sponde dell'Avisio già nel periodo compreso tra il 1818 ed il 1826, nel 1848 viene collaudato un lungo tratto di argini ("roste") tra Lavis ed il ponte dei Vodi ed a partire dall'inverno 1881-82 si iniziarono i lavori di fondazione della serra di S.Giorgio, la cui realizzazione fu completata nel 1886. Per il dimensionamento degli argini e di quest'opera, alla quale si pose mano ripetutamente, fino a tempi recenti, la portata "straordinaria" (*"ausserordentlich"*) di riferimento veniva stimata, inizialmente, attorno a 820 m³/s, osservati nella piena del 1855. A seguito delle eccezionali piene verificatesi tra gli anni 1882 e 1890 la portata "straordinaria" veniva innalzata, per l'Avisio a Lavis, al valore di **1200 m³/s** (Weber, 1892). Vale la pena di rilevare che nel nostro studio idrologico, basato, su più di cento anni di osservazioni aggiuntive, ad una portata di questa entità è stato associato un tempo di ritorno che si può cautelativamente stimare in 100 anni. Considerando che alle portate straordinarie stimate nella seconda metà dell'Ottocento potremmo associare, oggi, il concetto di tempo di ritorno di 100-200 anni, si può concludere che, nonostante a quei tempi i ragionamenti idrologici, in Italia ed all'estero, fossero ancora fondati su basi essenzialmente empiriche, la frequentazione e l'osservazione attenta dei corsi d'acqua consentiva, in molti casi, stime non troppo lontane da quelle che si possono effettuare oggi, con concetti più sofisticati e dati più completi. Sempre il Weber, nella sua magistrale monografia sulla sistemazione idraulica del medio ed alto corso dell'Adige, abbozza anche un confronto tra le portate al colmo stimate a Lavis e le precipitazioni massime giornaliere osservate a Cavalese nel corso di quattro piene notevoli (v. Tabella 1). L'elevato grado di correlazione tra le due serie di dati è indice di una certa affidabilità delle misure proposte dall'Autore.

*Tabella 1 - Piogge massime giornaliere registrate a Cavalese e portate al colmo stimate a Lavis
(da Weber, 1892)*

Anno	P giornaliera massima a Cavalese (mm)	Q al colmo a Lavis (m ³ /s)
1882	78.6	1000
1885	67.3	850
1889	56.2	733
1890	55.5	687

3. Le indicazioni della Conferenza dell'Adige e della Commissione Interministeriale "De Marchi"

Il Piano del Magistrato delle Acque e la Conferenza dell'Adige

Il 7 ed 8 aprile 1967 si tenne a Trento, Indetta dall'allora Giunta Regionale del Trentino-Alto Adige a seguito della disastrosa alluvione del 4 e 5 novembre 1966, la *Conferenza dell'Adige* cui contribuirono, dopo una fase di indagini preparatorie, esperti di chiara fama e tecnici del Genio Civile e della Regione (Regione Trentino-Alto Adige, 1967). L'ing. Giovanni Padoan, già Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, nella sua relazione tecnica generale, sulla base dell'andamento della piena del 1966 stimava in 100 milioni di metri cubi (Mm^3) la capacità di invaso necessaria nel tratto montano dell'Adige per scolare le sue piene. Faceva proprie le indicazioni progettuali contenute nel piano di opere di sistemazione e difesa fluviale elaborato dal *Magistrato delle Acque di Venezia*, presidente l'ing. Luigi Miliani, ed approvato dal Consiglio Superiore dei LL. PP. il 12 dicembre 1938 che prevedeva, tra l'altro, uno sbarramento da costruirsi a *Valda* di $20 Mm^3$ ed uno a *Pozzolago* di $14 Mm^3$. La relazione idrologica che accompagnava lo studio del Miliani concludeva che la laminazione dei due serbatoi progettati avrebbe consentito una diminuzione a Trento di 0.74 m del colmo della piena del novembre 1926 il cui colmo, si ricorda, fu misurato in $1643 m^3/s$.

Sulla scorta di successive proposte del Rodeghiero e delle indagini effettuate da Marzolo, Margheri e Menna, nella relazione dell'ing. Padoan alla Conferenza dell'Adige si individuavano come necessarie, assieme ad alcune serre di capacità limitata, una serra da costruirsi in località *Vanga*, sul torrente Talvera, 6 km a monte di Bolzano, della capacità di $6 Mm^3$. Decisivo per il controllo delle piene del Fiume Isarco il serbatoio ad uso multiplo (idroelettrico-irriguo e di laminazione delle piene) previsto in località *Elvas*, con un volume di $90 Mm^3$ a scopo di invaso delle punte di piena dell'Isarco e della Rienza.

Sul torrente Avisio era prevista una serra in località *Gresta*, alta 110 m, con una capacità di $21.5 Mm^3$ ed una in località *Pozzolago*, alta 72 m e con capacità di $10.2 Mm^3$. Nella memoria pubblicata sugli Atti della medesima conferenza l'ing. Federico Menna, allora Ingegnere Dirigente del Genio Civile di Trento, riprende in esame le opere previste dal Magistrato delle Acque nel primo dopoguerra, in particolare le dighe da costruirsi in Val di Cembra a *Valda*, con capacità di $21.5 Mm^3$ ed altezza di 87 m ed a *Pozzolago*, con capacità di $14 Mm^3$ e 72 m di altezza.

In questa stessa sede si fa riferimento ad una proposta di aumentare la capacità del serbatoio di Valda sull'Avisio fino a $50 Mm^3$, non viene fatto, però, riferimento ai calcoli idrologici ed idraulici alla base di queste previsioni progettuali.

Più specifica, in questo senso, la relazione dell'ing. Maurizio Margheri, allora Ingegnere Capo del Genio Civile di Bolzano, che stimò le necessità di invaso nel bacino dell'Adige in base alla durata, media nelle piene del settembre 1965, dell'agosto e del novembre 1966, delle portate superiori ad una soglia di circa

1000 m³/s ad Egna; questa durata fu stimata in 24 ore. Accurata l'analisi del Margheri sulle potenzialità di utilizzo delle capacità di invaso dei serbatoi in territorio altoatesino e trentino, in particolare, di quello di S. Giustina. Dai calcoli fatti si stimò che mantenendo un "polmone" utile alla laminazione di 18.8 Mm³, distribuito su 14 invasi, si sarebbe ottenuto uno scolmamento delle piene dell'Adige di 217 m³/s per 24 ore, con un costo annuo, per mancata produzione, di 393 milioni di lire del 1967. Con lavori di adeguamento degli organi di regolazione il costo sarebbe ridotto a circa un decimo, ma con una riduzione di soli 135 m³/s della portata dell'Adige per 24 ore. Si tratta, comunque, ancora di stime di larga massima, se si pensa che il contributo di piena specifico, da trattenere ad opera degli invasi, è supposto uniforme su tutto il bacino e pari a 200 l/s/km². La medesima relazione concludeva, comunque, che l'opera decisiva per dare all'intera asta dell'Adige da Bolzano a Mori un margine di sicurezza di 300 m³/s, trattenibili fino a tre giorni, sarebbe stato il serbatoio di Elvas, con 80 Mm³ di capacità di laminazione delle piene, la cui realizzazione allora trovava generali consensi, anche politici.

La Commissione De Marchi

Le strade da percorrere erano quindi ben chiare già nel 1967. Si trattava di delinearne in modo più preciso i contorni, inquadrando gli interventi strutturali per la difesa del suolo in una visione ad ampio spettro della sistemazione idraulico-forestale del territorio. Allo scopo fu istituita, ai sensi della legge 27 luglio 1967 n.632, la Commissione Interministeriale per lo studio della sistemazione idraulica e della difesa del suolo passata alla storia con il nome del suo presidente, il prof. Giulio De Marchi, insigne figura di ingegnere idraulico.

La Relazione Conclusiva, data alle stampe a Roma nel 1970, anticipava i contenuti e le scelte meglio dettagliate nei successivi volumi: quello di interesse per il bacino dell'Adige è il volume secondo, pubblicato nel 1974. Già nel 1970, comunque, la Commissione anticipava la necessità di tre serbatoi di attenuazione delle piene, da costruirsi ad *Elvas (78 Mm³)*, *Vanga (14 Mm³)* e *Valda (40 Mm³)*. I lavori della seconda sottocommissione, presieduta dal Prof. Giulio Supino e, in particolare, del sottogruppo di lavoro per la sistemazione idrogeologica del bacino dell'Adige, coordinata dall'Ing. Giovanni Padoan, giustificava la necessità di un intervento di radicale sistemazione dell'asta dell'Avisio in base alla constatazione dell'apporto decisivo del bacino dell'Avisio alla piena del novembre 1966, il cui contributo fu causa dell'innalzamento di oltre 1 m, rispetto a quello massimo precedentemente osservato, del profilo di massima piena nell'alveo dell'Adige a valle di Lavis. Ciò stava a dimostrare "*l'influenza notevole dell'Avisio sulle piene dell'Adige ed il suo elevato grado di pericolosità, dovuto alla vicinanza della confluenza alla città di Trento*", confermata dal fatto che, sempre nel 1966, l'Avisio contribuì con una portata che è stata circa metà di quella misurata a Trento. Si rilevava la scarsa influenza del Fiume Noce sulle tre piene del 1965-1966, per l'effetto benefico del serbatoio di S. Giustina, che nel 1966 consentì di immagazzinarvi temporaneamente 12 Mm³ d'acqua, riducendo di circa 300 m³/s la portata che, naturalmente, sarebbe defluita nell'Adige (Menna, 1996).

Tra i quattro siti identificati per l'ubicazione di dighe di laminazione, e cioè Valda, Pozzologo, Lisignago e S. Giorgio (non vengono, quindi, prese in esame ubicazioni alternative, più a monte), "*ad un primo esame*" appariva meritevole solo quella di Valda dove si proponeva la realizzazione di un invaso di 40 Mm³ con una diga di 100 m di altezza, in grado di tagliare per 24 ore una portata media di 460 m³/s. Si tratta, anche in questo caso, di stime di larga massima, dato che non risulta siano stati fatti, allora, dettagliati calcoli sulla forma dell'onda di piena in ingresso, sull'idrogramma in uscita dall'invaso di laminazione e sulla riduzione dei livelli e delle piene dell'Adige a valle del Ponte dei Vodi.

4. Gli studi preparatori ed il progetto della diga di Valda

Il progetto AGSM

Facendo proprie le conclusioni della *Commissione "De Marchi"* l'*Azienda Generale Servizi Municipalizzati del Comune di Verona* elaborò un progetto per l'utilizzazione idroelettrica, irrigua ed a scopo di laminazione di un serbatoio da realizzarsi a Valda (AGSM, 1978). Cinque i milioni di metri cubi destinati al volume morto, 20 quelli ad uso irriguo e 40 quelli da riservare alla laminazione delle piene. Significativo è lo studio sull'effetto di potenziale laminazione sulle piene dell'Adige che veniva stimato in una riduzione del colmo a Trento di 0.70 m per la piena del settembre 1965 (2294 m³/s il valore del colmo e 6.05 m il livello osservato a Trento), di 0.95 m per la piena dell'agosto 1966 (1822 m³/s e 5.34 m osservati a Trento) e di 1.10 m per la piena del novembre 1966 (2321 m³/s e 6.30 m a Trento).

Per il dimensionamento delle opere di scarico della diga, la massima piena veniva stimata con l'antica formula di Iszkowski che forniva un valore del colmo a Lavis di 1710 m³/s contro i 988 m³/s stimati dal Weber che, quasi un secolo prima, applicava la medesima formula con coefficienti meno cautelativi. La formula di Gherardelli-Marchetti, alla quale si può associare un tempo di ritorno di circa 100 anni e le stime effettuate adottando una distribuzione di Gumbel conducevano, rispettivamente, un valore di 840 m³/s e, per un tempo di ritorno millenario, 1482 m³/s. Prudenzialmente si adottava il valore di 1710 m³/s ai fini del dimensionamento degli scarichi.

In quello studio la Tabella 2 presenta una serie di portate al colmo per la stazione idrometrica dell'Avisio a Stramentizzo gestita dall'Ufficio Idrografico del Magistrato delle Acque di Venezia (UIMAVE nel seguito). Per questa serie, compresa tra gli anni 1934 e 1950, con l'esclusione del 1935 e del 1944, le portate furono "da misure di altezza idrometrica" dell'UIMAVE. Questa serie di portate - lo hanno già notato diversi studiosi, come segnalato in Villi e Bacchi (2001) e lo sottolinea anche lo studio di Fiorentino (2002)- è in disaccordo sistematico (con una sovrastima) con quella riportata nel Rapporto VAPI-Triveneto che, in gran parte, fa riferimento a dati pubblicati dall'Ufficio Idrografico della PAT nell'Annale Idrologico del 1976. Come è discusso più in dettaglio nella *Relazione idrologica* allegata presente studio, la serie è in disaccordo anche con altri dati ufficiali pubblicati dal Servizio Idrografico del Ministero dei Lavori Pubblici (1939). Questa serie di 15 colmi di piena massimi annuali, integrata con altri 15 relativi alla sezione di Lavis, verrà adottata senza ulteriori indagini, in molti degli studi successivi sulle piene dell'Avisio e, in particolar modo, dai progetti di massima ed esecutivo della diga di Valda.

Lo studio Cola-Veronese

Il primo studio che, in parte, fondava le proprie analisi idrologiche su questa serie è quello redatto da

Cola e Veronese (1979) per conto della Provincia Autonoma di Trento (PAT, nel seguito), per l'utilizzazione del serbatoio di Valda, con i medesimi volumi del progetto AGSM, a fini multipli, tra cui la laminazione delle piene. Questo studio è più completo dal punto di vista dell'idrologia delle piene dell'Avisio, ed è fondamentale in quanto è stato dichiaratamente ripreso tal quale, nei dati e nei metodi, nel progetto di massima della diga di Valda redatto da ELC ed SWS (1985b) per conto della PAT. Con qualche aggiornamento esso sta alla base anche del progetto esecutivo, completato nel 1993. Nello studio di Cola e Veronese, oltre alla serie "AGSM" di portate al colmo ricostruita a Valda vengono esaminati i valori massimi annuali stagionali (primaverili-estivi ed autunnali-invernali) delle piogge di 1, 2 e 3 giorni consecutivi registrati a Moena, Predazzo e Cavalese tra il 1924 ed il 1975. Le sue distinte serie vengono elaborate statisticamente adottando una distribuzione di Gumbel, verificata come idonea in base ad un test di adattamento di Pearson (o del χ^2) ed i quantili stimati per tempi di ritorno di 500 e 1000 anni separatamente per le due serie. Si ritiene di poter fare un appunto metodologico all'applicazione dei risultati di questa elaborazione che, in pur essendo in sé lecita, dà però adito a qualche perplessità. Infatti, è possibile stimare la probabilità di non superamento $P_X(x)$ del valore x del massimo annuale, x , di una variabile idrologica ipotizzando che essa venga estratta da due (ad esempio) popolazioni relative ad un sottoperiodo dell'anno, plurimensile. Ad esempio A può essere il massimo annuale delle piogge autunnali-invernali e B quello delle piogge primaverili-estive. E' evidente che, ad esempio, la media dei massimi annuali delle piogge primaverili, o autunnali, sarà sicuramente minore, o al più uguale, di quello dell'evento massimo annuale. Dette $P_A(x)$ e $P_B(x)$ le relative distribuzioni, assumendo, ragionevolmente, le due variabili indipendenti, come ipotizzato dagli Autori, la distribuzione del massimo annuale sarà data dal prodotto delle distribuzioni

$$P_X(x) = P_A(x) \cdot P_B(x) \quad (1)$$

Il tempo di ritorno T associato al valore x del massimo annuale, però, sarà inferiore a quello dei medesimi quantili delle due distribuzioni, prese singolarmente. Calcolare la sollecitazione meteorica di progetto a tempo di ritorno assegnato come quella massima tra le due stagionali con il medesimo tempo di ritorno non è però cautelativo. Si potrebbe, infatti, ripetere il ragionamento per i massimi dei singoli mesi, o dei singoli giorni dell'anno, con una inevitabile conseguente sottostima dell'evento T -ennale.

Lo studio prosegue con la stima dei parametri di un modello di trasformazione afflussi-deflussi di piena, di tipo concettuale, a parametri globali. Esso prevede di stimare il volume delle piogge nette e del deflusso ipodermico in base all'analisi dell'idrogramma di piena. Il deflusso superficiale è simulato con un IUH di Nash (o, in alternativa, con un idrogramma dedotto dalla funzione di risposta ad un afflusso di volume unitario e durata bioraria), e quello ipodermico ipotizzando una risalita lineare dei deflussi subsuperficiali ed una fase di esaurimento esponenziale, di costante temporale γ . Va rilevato che la calibrazione dei parametri del modello valido per gli eventi autunnali, i più gravosi, si è basata sull'analisi dettagliata di una sola piena, quella del 1966. Il coefficiente di deflusso di piena, valore assunto anche per il calcolo degli idrogrammi di

progetto, è stato stimato in 0.78, di cui il 60% (0.468) da attribuirsi ad deflusso superficiale ed i 40% (0.312) a quello ipodermico. Questi valori del coefficiente di deflusso appaiono alquanto cautelativi. Essi non tengono conto del fatto che, come osservato da diversi autori, tra cui il Dorigo (1967) e come calcolato nella *Relazione idrologica* allegata al presente studio, una ventina di millimetri di afflusso forniti dalla fusione del manto nevoso devono essere aggiunti a quello di pioggia, con il che si riduce il coefficiente di deflusso. Inoltre, il volume totale di afflusso, calcolato in 82.78 Mm³ (113.5 mm) sottostima alquanto i valori delle piogge giornaliere nei due giorni, il 4 e 5 novembre, di massima piovosità, ragguagliate nel bacino, stimabili in almeno 168.5 mm come fa il Dorigo. Questo problema andrebbe meglio approfondito con la collaborazione dei Servizi e degli Enti subentrati a quelli addetti all'epoca al monitoraggio pluviometrico. Si può però ritenere verosimile che, anche nella piena del 1966, il coefficiente di deflusso sia stato inferiore a 0.78. Una conferma indiretta risiede nel fatto che per le piene, notevoli, dell'ottobre 1960, dell'ottobre 1965 e dell'agosto 1966 Cola e Veronese stimano un coefficiente di afflusso, rispettivamente, di 0.61, 0.71 e di 0.30.

L'adozione, per gli idrogrammi di progetto, di un deflusso di base di 30 m³/s per gli eventi autunnali è, invece, condivisibile.

Utili, infine, le valutazioni degli effetti di laminazione nell'Avisio sulle piene del 1965 e 1966. Ipotizzando una portata massima scaricata dal serbatoio di Valda di 320 m³/s e sommati i contributi dell'interbacino Valda-Lavis, il colmo a Trento sarebbe stato ridotto da 2185 a 1935 m³/s (da 6.05 a 5.60 m di livello idrometrico) nel 1965 e da 2320 a 1630 m³/s (da 6.30 a 4.95 m di livello idrometrico) in occasione dell'alluvione del 1966.

Il progetto della Diga di Valda

Come precedentemente accennato lo studio idrologico (ELC-SWS, 1985b) del *progetto di massima della diga di Valda (1985)* è tratto dallo studio di Cola e Veronese, al quale non aggiunge molto. Dal punto di vista del metodo e dei dati utilizzati rimangono tali, quindi, i pregi ed i limiti dello studio precedente. La diga prevista sottende un bacino di 855 km² ed è alta 132 m sul punto più depresso delle fondazioni con un volume totale disponibile, al livello di massimo invaso, di 64 Mm³. Gli scarichi di superficie sono dimensionati in modo da smaltire una portata di 1415 m³/s corrispondente ad una portata entrante con tempo di ritorno di 10000 anni (ELC-SWS, 1985a), mentre per il dimensionamento e l'esercizio dell'invaso è stata considerata la piena del periodo autunnale-invernale con tempo di ritorno 500 anni, prodotta da una precipitazione statistica continua e, pare di capire, di intensità costante, di due giorni. Il colmo risultante in ingresso è di 885 m³/s, il volume della piena di progetto, cinquecentennale, di circa 150 Mm³ ed il volume invaso di 52 Mm³, pari al volume utile dell'invaso, e tale da ridurre il colmo di 450 m³/s.

I metodi idrologici adottati variano leggermente nel *progetto esecutivo* della stessa diga (ELC-SWS, 1993a) il cui Allegato f illustra in modo molto sintetico i calcoli effettuati. Anche alcune dimensioni dell'opera variano, in particolare, il volume utile per l'invaso che si riduce a 45.8 Mm³, in grado comunque di ridurre il

colmo cinquecentenario a 450 m³/s. Per la deduzione degli idrogrammi di piena i progettisti si sono sostanzialmente avvalsi, con qualche modifica, della stessa metodologia impiegata nel progetto di massima (e quindi nello studio Cola-Veronese), basata sull'elaborazione delle precipitazioni di uno o due giorni consecutivi e l'applicazione di una trasformazione afflussi-deflussi di tipo lineare. Le stazioni prese in esame sono ancora quelle di Moena, Predazzo e Cavalese, ma la serie è integrata con i dati dal 1976 al 1987. Diversi dati, una trentina in tutto, delle piogge massime annuali di due giorni consecutivi, differiscono da quelli pubblicati sugli Annali idrologici, o riportati ed elaborati statisticamente nello studio di Cola e Veronese (1979), nel progetto di massima o nello studio di Fiorentino (2002). Molti di questi dati, ad esempio la precipitazione di 114.4 millimetri del 27-28 ottobre 1981 a Cavalese, sono stati volutamente scorporati dal campione statistico dei massimi annuali perché corrispondenti a precipitazioni, in parte, nevose, che si ipotizzano fondere in modo lento e differito nel tempo, come accennato molto sinteticamente nell'Allegato f del progetto esecutivo. Altri, ad esempio il massimo annuale del 1978 a Predazzo o quello del 1936 a Moena, non trovano riscontro nei dati ufficiali: un verifica sui dati pluviometrici elaborati pare, quindi, opportuna. Le altezze di pioggia bigiornaliera a tempo di ritorno assegnato, comunque, non differiscono troppo da quelle stimate nel presente studio, basate sul campione dei massimi annuali di precipitazione integrato con i dati dei massimi annuali pubblicati per il 1988, 1998, 1999 e 2000 (UIPAT, Anni vari), riportate negli Allegati allo studio idrologico. Lascia, invece, qualche perplessità, il fatto che in un progetto esecutivo non vengano prese in esame le piogge massime annuali di durata assegnata, di 1, 3, 6, 12, 24 ore che sono pubblicate, con numerosità dei campioni significativa, per le stazioni di Pian Fedaià, Moena, Predazzo, Cavalese e Cadino di Fiemme. La loro elaborazione consente infatti di capire quale sia, mediamente, il modo di crescere delle altezze di precipitazione con la durata dell'evento meteorico. L'ipotesi, assunta nello studio, di una intensità costante trova difficile riscontro negli eventi pluviometrici reali che presentano sempre una fase di maggiore intensità ed una con intensità minore. Stabilire, in senso statistico, la differente intensità di queste fasi è possibile elaborando, appunto, le serie dei massimi annuali di diversa durata, come è stato fatto nel presente studio dove lo ietogramma di progetto è stato suddiviso in due periodi contigui di 18 ore, con intensità che rispetta le linee segnalatrici sia di durata di 18 ore che di 36 ore. Il colmo di piena risultante è più elevato e con una forma più simile a quelle effettivamente osservate nell'Avisio. Inoltre, l'utilizzo di serie storiche di 5 stazioni, invece che di sole tre stazioni, consente di stimare meglio il solido delle precipitazioni medie areali. A questo riguardo lo studio idrologico del progetto esecutivo ha ricevuto alcune critiche, di cui si riferirà anche nel seguito, per non aver considerato la riduzione delle piogge areali rispetto a quelle medie puntuali. Dal punto di vista del metodo la critica è corretta, in quanto è vero che, negli eventi intensi, le piogge medie areali sono, statisticamente, meno intense di quelle puntuali. Tuttavia, dai calcoli effettuati nel presente studio analizzando i dati pluviometrici di otto dei maggiori eventi di piena accaduti dal 1989 ad oggi, la sovrastima che si ottiene trascurando la riduzione areale delle piogge è valutabile nell'ordine del 4% per le piogge di 12 ore e di solo l'1% per le piogge di 36 ore.

Non viene nemmeno preso in considerazione il possibile contributo della fusione nivale che deve essere

stato di un certo rilievo, con un contributo del 10% circa, nella piena del 1966 ed il quella del 1980, ad esempio.

In media le ipotesi di lavoro assunte per la stima della piena di progetto tendono a compensarsi (v. Tabella 2) conducendo, complessivamente, ad un volume di piena che si giudica, comunque, alquanto cautelativo. La piena di progetto autunnale, la più gravosa, con tempo di ritorno di 500 anni ha, infatti, un volume di afflusso meteorico di 191.32 mm, contro i 178.5 da noi stimato, un colmo, a Valda, di 831 m³/s, ed un volume di 142 milioni di metri cubi, corrispondenti a 166.1 mm di deflusso contro i 130.7 mm da noi calcolati, mentre il colmo decamillenario calcolato dalla trasformazione afflussi-deflussi risulta, nel progetto esecutivo, di 1275 m³/s, ma gli scarichi superficiali sono dimensionati in modo da scaricare il valore massimo entrante imposto dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici in 1435 m³/s, valore di 23 m³/s inferiore a quello da noi stimato, cautelativamente, come millenario per la sezione di Valda. La laminazione delle piena cinquecentenaria è in grado di abbattere la portata massima scaricata al valore di 449.2 m³/s, al quale va aggiunto il contributo dell'interbacino Valda-Lavis per il calcolo del colmo della piena che defluirebbe nell'Adige. Al riguardo di questo calcolo il progetto esecutivo non è esplicito.

I limiti dello studio idrologico in esame derivano dall'aver dato scarsa attenzione ai dati idrometrici, fondando di fatto il calcolo della piena di progetto, solo sulla trasformazione degli afflussi meteorici statistici in deflussi, operazione sempre affetta da incertezze che si amplificano qualora gli eventi esaminati per la taratura del modello di trasformazione siano pochi. E' anche per questo motivo che il coefficiente di deflusso assunto nel progetto esecutivo (0.78) appare alquanto cautelativo, così come il volume complessivo della piena di progetto, di circa il 50% superiore a quello della piena del 1966, il cui tempo di ritorno è stimabile in 100-200 anni.

Tabella 2 - Influenza di alcune ipotesi di lavoro assunte nel progetto esecutivo della diga di Valda (1993) sulla determinazione della piena di progetto.

Ipotesi idrologica	A favore di sicurezza	A sfavore di sicurezza
Distinzione eventi autunnali e primaverili		X
Fattore di riduzione delle piogge areali trascurato	X	
Coefficiente di deflusso 0.78	X	
Precipitazioni di intensità costante		X
Durata di 48 ore	X	
Contributo della fusione nivale trascurato		X
Scorporo delle precipitazioni parzialmente nevose dal campione dei massimi annuali		X

5. Lo studio Alpha Cygni del 1997

Commissionato alla società Alpha Cygni dal Comitato per la salvaguardia dell'Avisio-Conferenza dei Sindaci della Valle di Cembra, nel 1997 veniva fatta pervenire all'Autorità di Bacino Nazionale del Fiume Adige la bozza della relazione conclusiva dello "*Studio integrato relativo alla fattibilità tecnico-economica-ambientale della diga di Valda e alle ipotesi pianificatorie alternative*" (Alpha Cygni, 1997). Lo studio, nell'analizzare il progetto esecutivo della diga di Valda del 1993 ed il relativo studio di impatto ambientale del 1995, ne criticava le conclusioni, proponendo soluzioni alternative alla costruzione della diga. Entrava, inoltre nel merito di alcune scelte alla base dei calcoli idrologici del progetto esecutivo, proponendo dei metodi alternativi per il calcolo delle piene dell'Adige a Bronzolo e Trento, del Noce e lungo l'asta dell'Avisio. Lo studio, per i limiti di tempo, può essere classificato tra le fasi di identificazione e di prefattibilità, ma è comunque degno di attenzione se non altro per il fatto che alcune delle sue conclusioni, in parte condivisibili, hanno avuto l'effetto di promuovere la ricerca di eventuali soluzioni alternative alla diga di Valda.

Di questo studio non si condivide completamente la critica (riportata a pag. 24) alla metodologia impiegata nel progetto esecutivo per il calcolo della piena di progetto in base alla trasformazione afflussi-deflussi: se è vero che il modello di Nash risale alla fine degli anni '50, non si può oggi affermare che esso sia superato per le applicazioni ingegneristiche dell'idrologia. Anche l'applicazione di modelli per il calcolo della produzione del deflusso di piena più aggiornati (Zhao et al., 1983; Beven e Kirkby, 1979; Moore e Clark, 1983; Todini, 1996), ma sempre di tipo concettuale ed a parametri globali come quello utilizzato nel progetto ELC-SWS e nel nostro studio, richiederebbe comunque, se si intende attribuire ai loro parametri un rigoroso significato fisico, fatto già di per sé questionabile, campagne sperimentali costosissime, dell'ordine di diversi milioni di Euro, al fine della caratterizzazione delle proprietà idrauliche dei suoli e delle caratteristiche dei percorsi idrici ipodermici.

Si condivide nella forma, ma solo in parte nella sostanza, la critica sul concetto di tempo di corrivazione assunto nello studio di massima della diga di Valda: se è certamente vero che, fin dallo studio di Cola e Veronese, si fa confusione tra il concetto di tempo di concentrazione della funzione di risposta all'impulso con quello di tempo di corrivazione (Tonini, 1966 p. 148) che è superiore (almeno il doppio) del primo, è altrettanto vero, ai fini del calcolo del volume di un serbatoio di laminazione, assumere una durata '*critica*' superiore al tempo di corrivazione (Paoletti e Rege Gianas, 1979; Bacchi et al., 1996), come nel progetto ELC-SWS. Se, per quanto precedentemente commentato ed illustrato in dettaglio nella *Relazione idrologica* allegata al presente studio, pare eccessivo, se confrontato con i dati idrometrici, il volume della piena di durata 48 ore assunto nel progetto è, al contrario, poco cautelativo assumere una durata dell'evento di progetto di sole 24 ore, come suggerito nello studio Alpha-Cygni.

Nel medesimo studio vengono, inoltre, stimate le portate al colmo di piena dell'Adige a Bronzolo ed a Trento, del Noce alla Rupe e dell'Avisio a Stramentizzo con la distribuzione GEV ed il metodo dei momenti pesati in probabilità. Lascia perplessi la stima locale dei parametri per il Noce alla Rupe, sezione per la quale

sembrerebbe, dalle rappresentazioni grafiche presentate, che fossero disponibili solo 11 dati: le stime dei quantili di una distribuzione, come la GEV, a tre parametri, hanno un significato statistico molto incerto se la numerosità del campione è così ridotta. Inoltre, pare ingiustificato non considerare il colmo del 1966 (evento che deve essere, invece, il cardine dei calcoli idrologici di piena per l'Avisio) nella stima dei parametri per il fatto che a quell'evento non si potrebbe attribuire correttamente una probabilità campionaria. Le stime risultanti, in ogni caso, non differiscono molto da quelle a cui si è pervenuti adottando il modello GEV con parametri stimati sempre con il metodo dei momenti pesati in probabilità, ma a scala regionale.

Corretta, in linea di principio, l'osservazione sulla necessità di una correzione delle piogge medie areali tramite un fattore di riduzione, come suggerito dalla WMO (1986); ma, anche alla luce delle analisi effettuate nel presente studio centrate sugli eventi meteorici causa di piene nel bacino dell'Avisio, e non nei bacini degli Stati Uniti occidentali (come quelle riportate dal manuale dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale), per le durate in esame di 24-48 ore questa riduzione non altererebbe in modo drastico il volume della pioggia di progetto.

6. Lo studio idrologico ad integrazione dello Studio di Impatto Ambientale della PAT del 2002.

La Provincia Autonoma di Trento affidava nel luglio 2001 al Prof. Mauro Fiorentino un incarico per integrare lo Studio di Impatto Ambientale relativo al Progetto della diga di Valda. Il lavoro, completato nel 2002 avvalendosi della collaborazione del CIMA e di Hydrodata S.p.a., esamina possibili soluzioni alternative alla diga di Valda, nelle dimensioni previste dal progetto esecutivo, basandosi, tra l'altro su uno studio idrologico sulle piene del bacino dell'Adige chiuso a Trento, comprendente il bacino dell'Avisio.

Lo studio idrologico, oggetto del presente esame critico, adotta metodi aggiornati e consolidatisi negli ultimi decenni nella pratica idrologica, soprattutto italiana. La base dati per le analisi statistiche è, essenzialmente, quella raccolta nel progetto VAPI (Villi e Bacchi, 2001, aggiornata alla fine degli anni '90), integrata con ietogrammi ed idrogrammi di piena relativi a diverse piene significative dell'Adige e dei suoi affluenti e con dati su piene notevoli dell'Avisio fornite dall'ENEL, raccolte dall'ing. Garzon e nell'ambito dello studio Alpha-Cygni. A riguardo dell'attendibilità della serie relativa a Stramentizzo, riportata per esteso nel nostro studio idrologico, si nutre qualche dubbio, essendo essa in contrasto con i dati ufficiali riportati da pubblicazioni degli Uffici Idrografici sia nazionali che della PAT. Il valore del colmo della piena del 1960, inoltre, è nettamente inferiore a quello riportato nel progetto di massima della diga di Valda. Di queste discrepanze, rilevate da altri (cfr. ad es. Villi e Bacchi, 2001) ed osservate anche da Fiorentino, si discute in dettaglio nella *Relazione idrologica* allegata al presente studio. In base alla serie dei colmi a Stramentizzo, che si può denominare "AGSM integrata", sono stati stimati la portata indice ed il parametro Λ_1 della distribuzione TCEV, con parametri Λ^* e Θ^* stimati su base regionale elaborando i colmi di piena di 13 sezioni idrometriche nel bacino dell'Adige. Per la sezione di Lavis, invece, è stato stimato solo il parametro θ_1 , a causa della limitatezza del campione disponibile. Estrapolati i quantili, stimati a Stramentizzo e Lavis, alla sezione di Valda, si ottengono, per le sezioni di interesse dell'Avisio i valori di portata al colmo di Tabella 3, meno cautelativi, di circa il 10% a Stramentizzo e del 15% a Lavis, rispetto a quelli da noi stimati che sono, invece, dello stesso ordine di grandezza rispetto alle stime locali, per Stramentizzo, effettuate nello studio Alpha-Cygni. Nell'esame di questo scostamento delle stime si deve tenere conto che il nostro studio si è basato sulla regionalizzazione delle portate del solo bacino dell'Avisio, utilizzando una serie di colmi più completa, e che i modelli probabilistici adottati sono differenti.

Si può concludere in sintesi, su questo importante aspetto delle analisi statistiche dei colmi di piena dell'Avisio, che lo studio Fiorentino, con il modello TCEV con stima dei parametri regionale per il bacino dell'Adige, conduce a stime meno cautelative di quelle del modello GEV con stime locali effettuate da Alpha-Cygni, che a loro volta sono in sintonia con le stime del modello MG da noi applicato basato sulla stima "universale", per il territorio italiano, della forma della curva di crescita delle portate adimensionali, e stima locale, per l'Avisio a Stramentizzo, di media e coefficiente di variazione.

Tabella 3 - Portate al colmo con tempo di ritorno assegnato stimate per tre sezioni di interesse dell'Avisio a valle di Stramentizzo dallo studio di Fiorentino (2002).

T (anni)	Q _T Stramentizzo (729 km ²)	Q _T Valda (855 km ²)	Q _T Lavis (934 km ²)
50	664	784	856
100	762	888	969
200	860	992	1083
400	959	1097	1197
500	991	1130	1234

Significativa, nello studio di Fiorentino, l'analisi sulla forma ed i volumi degli idrogrammi di piena dell'Avisio a Stramentizzo. Esaminando 12 piene notevoli (due in meno di quelle da noi esaminate) calcolate tramite l'equazione di bilancio del serbatoio, viene stimata la curva di riduzione dei volumi di piena nella forma (Fiorentino, 1985):

$$r(D) = \frac{k}{D} \cdot \left(1 - e^{-\frac{D}{k}} \right) \quad , \quad (1)$$

il cui parametro temporale k viene stimato pari a 19 ore. In base a questo risultato viene definita la forma dell'idrogramma di piena a Lavis, esponenziale simmetrica con costante di tempo di 9.5 ore e colmo dato dai valori di Tabella 3. Fissato il valore della portata massima scaricata a valle di una ipotetica diga sull'Avisio in una sezione idealmente collocata a Lavis, viene stimato, con calcoli di larga massima, in 14,4 e 35,2 milioni di metri cubi il volume di invaso necessario per limitare la portata con T=200 e 500 anni rispettivamente a 483 e 284 m³/s, rispettivamente. Il metodo di calcolo adottato, basato sull'ipotesi di un "taglio" costante dell'onda di piena in ingresso, fornisce i volumi di invaso minimi, e non quelli effettivi, che dipendono dal reale funzionamento degli organi di scarico, necessari per ottenere l'effetto di laminazione voluto. Inoltre, il metodo non tiene conto del contributo dell'interbacino compreso tra la sezione reale (che ben difficilmente sarebbe ubicabile a Lavis) ed assume una forma della piena, simmetrica, che trova raramente riscontro nella realtà; infatti le piene reali, presentano generalmente un ramo di esaurimento con diminuzione più lenta della crescita del ramo di risalita.

Tale valutazione è comunque risultata utile per guidare gli autori dello studio alla proposta, di massima, di due soluzioni alternative alla costruzione della diga di Valda che prevedono, rispettivamente, la realizzazione di un invaso, a Valda, di 16.5 Mm³ di volume utile ed una portata massima scaricata di 520 m³/s o, in alternativa, di 18.2 Mm³ di invaso ed una portata massima scaricata di 550 m³/s, assieme ad interventi strutturali e non strutturali nel bacino del Noce e dell'Adige presso Trento.

Sempre nello studio di Fiorentino di un certo interesse, riguardo all'idrologia delle piene dell'Adige, sono i

risultati della calibrazione di un modello di trasformazione afflussi-deflussi, denominato AD2, di tipo concettuale a parametri concentrati, più semplice di quello messo a punto dall'Università di Trento (1997) e denominato "Adige", di tipo concettuale, ma a parametri distribuiti.

I valori di alcuni dei parametri più significativi del modello AD2, calibrati in base alle tre sole piene del 1997, 1998 e 1999, sono in sostanziale accordo con quelli stimati, in modo autonomo e con una impostazione concettuale leggermente differente, nel nostro studio idrologico. Per il modello AD2 è stimato in 100 mm lo spessore della lama d'acqua immagazzinabile nello strato superficiale di suolo (con in metodo SCS-CN da noi adottato se ne stimano 104), in 6 ore il tempo medio, t_L , di risposta del deflusso superficiale (nel nostro caso $t_L = n \cdot k = 3 \cdot 2.2 = 6.6$ h) ed il 40 quello del deflusso sotterraneo, contro le 39 ore da noi stimate analizzando, invece, 7 piene, tra cui quella del novembre 1966.

7. Conclusioni

Dall'esame critico di una decina di studi sull'idrologia delle piene dell'Avisio, com'era da attendersi, è emerso il ruolo imprescindibile che gioca l'informazione idrometrica nella definizione dei caratteri fondamentali dei fenomeni di piena dell'Avisio. La variabilità delle stime su portate al colmo e volumi di piena, effettuate negli studi esaminati (che giunge fino al 50%), è ascrivibile soprattutto, alla differente consistenza dei dati utilizzati ed, in parte, anche ai differenti metodi di calcolo adottati.

Al riguardo si fa rilevare come nel presente studio la base di dati idrologici sia molto più ampia di quella adottata negli studi esaminati e che le metodologie applicate nelle stime delle portate di onde di piena siano le più moderne ed affidabili.

Comunque, per dire una parola definitiva, sulle piene dell'Avisio potrebbe essere utile un confronto con i Servizi che hanno ereditato, da Uffici oggi soppressi, la responsabilità del monitoraggio idrometrico e meteorologico del territorio, e l'ulteriore collaborazione, sinora fattiva, dell'ENEL, che gestisce il serbatoio di Stramentizzo, per completare la raccolta delle informazioni fin ad oggi, maturata a partire dal 1953 sui fenomeni di piena del corso d'acqua. Inoltre, andrebbe meglio definita anche la scala delle portate alla sezione di Lavis, arricchendo il set di misure idrometriche fatte eseguire nell'ambito del presente studio durante la piena del 28 novembre 2002.

A conclusione pare opportuno far rilevare come, dopo più di settanta anni di ragionamenti e studi, a vario livello di approfondimento, finalizzati alla precisazione dei volumi di laminazione necessari per il controllo delle piene dell'Avisio, nella nostra proposta progettuale il serbatoio di laminazione ritenuto necessario per controllare, eventi con tempo di ritorno compreso tra i 200 ed i 500 anni richiede un volume utile per la laminazione di 22.7 Mm³, un volume totale alla quota di sfioro di 24 Mm³ ed un volume totale al livello di massimo invaso di 26.4 Mm³. Si tratta di valori abbastanza prossimi a quello stimato negli anni 30 nel piano del Magistrato delle Acque di Venezia, con dati e conoscenze "teoriche" sull'idrologia di gran lunga inferiori a quelle attuali; evidentemente l'osservazione diretta, l'esperienza ed il buon senso sopperivano a tali lacune. Dopo di allora, i volumi di laminazione proposti nel corso di 70 anni di studi, le dimensioni proposte, con l'eccezione dello studio Alfa-Cygni, contrario alla Diga di Valda, hanno oscillato tra i 64 Mm³ del progetto di massima della diga di Valda ed i 16.5 del recente studio di Fiorentino (Schema 2).

Tabella 4 - Volumi di invaso necessari per il controllo delle piene dell'Avisio in varie proposte e studi progettuali, dal 1938 ad oggi.

	Volume di invaso (milioni di metri cubi)		
Piano UIMAVE, 1938	34.0		
Conferenza dell'Adige, ing. Padoan, 1967	31.7		
Conferenza dell'Adige, ing. Menna, 1967	35.5		
Commissione De Marchi, 1970	40.0		
AGSM, 1978	40.0		
Cola e Veronese, 1979 (2 opzioni)	40.0	60.0	
Progetto di massima ELC-SWS, 1985	64.0		
Progetto esecutivo ELC-SWS, 1993	54.0		
Alfa-Cygni, 1997	0.0		
Fiorentino, 2002 (Schema 1, 2, 3)	10.0	16.5	18.2
Idro s.r.l., 2003	26.4		

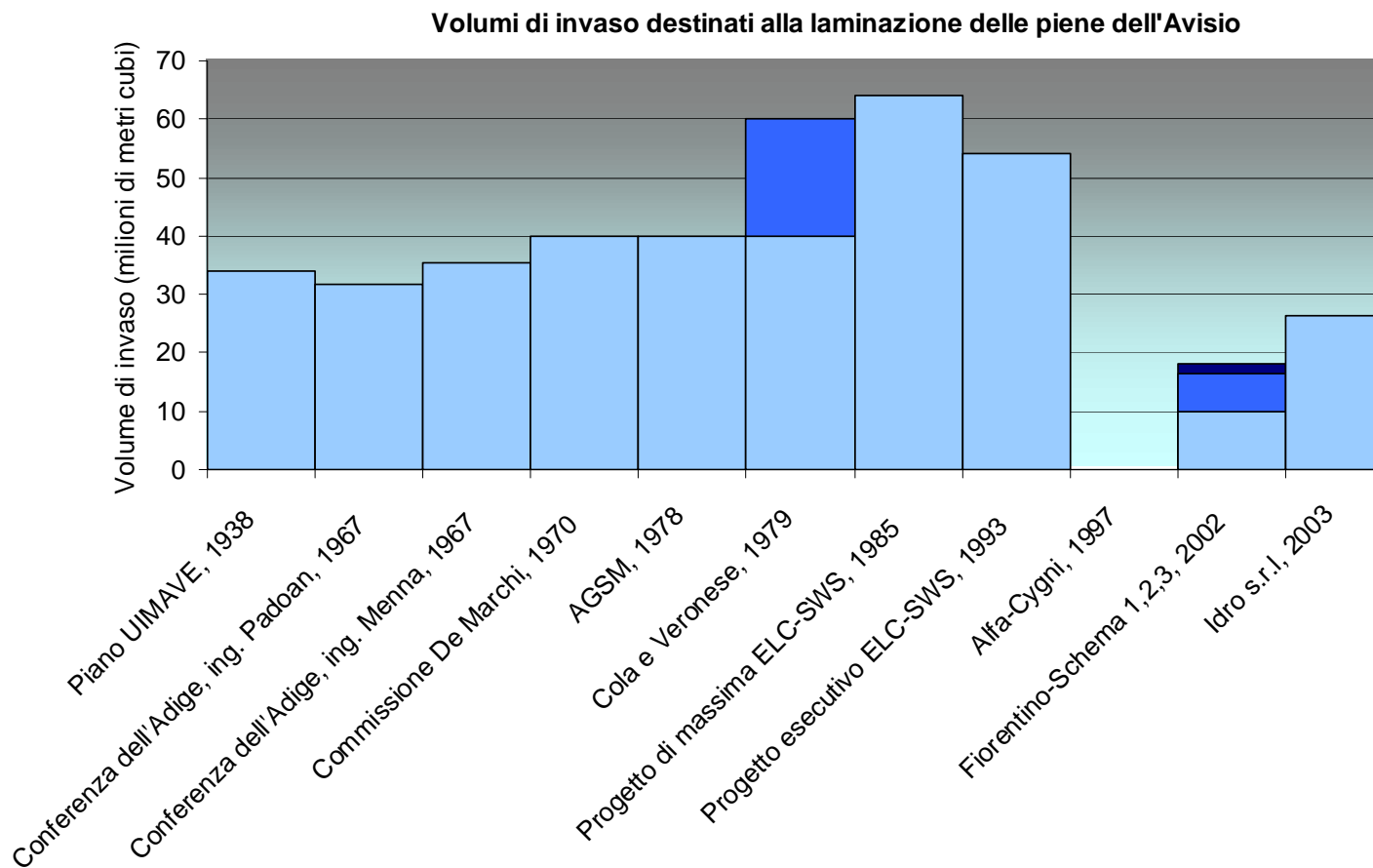


Figura 1 - Volumi di invaso necessari per il controllo delle piene dell'Avisio in varie proposte e studi progettuali, dal 1938 ad oggi.

8. Bibliografia

- AGSM Verona, Impianti idroelettrici del Torrente Avisio e del Lago delle Piazze con regolazione delle piene nel serbatoio di Valda ed accumulazione di acqua ad uso irriguo nei serbatoi di Valda e Pozzologo. Relazione Idrologica a cura di G. Zanella, Verona, Marzo 1978.
- Bacchi B., Maione U. e R. Ranzi, *Sul dimensionamento di volumi di invaso a servizio di bacini con scarico vincolato dai livelli del ricettore*, Atti del Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, II, 37-48, 1996.
- Beven, K.J. e Kirkby M.J., *A physically-based variable contributing area model of basin hydrology*, Hydrol. Sci. Bull., 24, 43-69, 1979.
- Cola R. e F. Veronese, *P.A.T. - Assessorato ai LL.PP - Studio per l'utilizzazione dell'invaso del serbatoio di Valda sull'Avisio ai fini della laminazione delle piene, dell'irrigazione e della produzione di energia elettrica*, Padova, Gennaio 1979.
- Comitato per la salvaguardia dell'Avisio-Conferenza dei sindaci della Valle di Cembra, *Bozza della relazione conclusiva della Convenzione per uno studio integrato relativo alla fattibilità tecnico-economica-ambientale della diga di Valda e alle ipotesi pianificatorie alternative*, a cura di Alpha Cygni s.r.l., Febbraio 1997.
- Dorigo L., *La piena dell'Adige del novembre 1966 con brevi cenni alle precedenti piene*, Ufficio Idrografico del Magistrato delle Acque, Venezia, 1967.
- ELC Milano, SWS Trento, per conto della P.A.T., *Diga di Valda sul Torrente Avisio - Progetto di massima, Allegato a: Relazione tecnica*, Dicembre 1985a.
- ELC Milano, SWS Trento, per conto della P.A.T., *Diga di Valda sul Torrente Avisio - Progetto di massima, Allegato d: Relazione idrologica ed ecologica*, Dicembre 1985b.
- ELC Milano, SWS Trento, per conto della P.A.T., *Diga di Valda sul Torrente Avisio - Progetto esecutivo per l'appalto*, Maggio 1993.
- Fiorentino, M., *La valutazione dei volumi di piena nelle reti di drenaggio urbano*, Idrotecnica, 3, 141-152, 1985.
- Fiorentino, M. (a cura di), *Integrazione dello studio di impatto ambientale relativo al progetto della diga di Valda per la laminazione delle piene del Torrente Avisio*, Provincia Autonoma di Trento, Febbraio 2002.
- Maione U., Adami S., Gardelli R., Mignosa P. e Tomirotti M., *Un modello di stima regionale degli idrogrammi sintetici per la pianificazione della difesa idraulica lungo l'asta del Po*, in *La difesa idraulica delle aree urbane*, Editoriale Bios, 2002.
- Maione, U. (responsabile scientifico), Menduni, G. (coordinatore), *Linee guida per la progettazione delle casse di laminazione*, per conto dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno, 2000.
- Maione U. e Riboni V., *Le casse di espansione*, in *La difesa idraulica delle aree urbane*, Editoriale Bios,
-

2002.

- Menna F., *Relazione presentata al Convegno "L'alluvione del novembre 1966 trenta anni dopo"*, Provincia Autonoma di Trento, Trento, 1996.
- Moore, R.J. e Clarke R.T., *A distribution function approach to modelling basin sediment yield*, J. Hydrol., 65, 239-257, 1983.
- Paoletti A e Rege Gianas F., *Il dimensionamento delle vasche volano nelle reti di fognatura*, Ingegneria Sanitaria, 1, 1979.
- Provincia Autonoma di Bolzano - Azienda speciale per la regolazione dei corsi d'acqua e la difesa del suolo (a cura di P. Stacul), *Regolazione dei corsi d'acqua e difesa del suolo: ieri e oggi in provincia di Bolzano*, Bolzano, 1981.
- Provincia Autonoma di Trento, *Diga di Valda sul Torrente Avisio - Progetto esecutivo per l'appalto*, redatto da ELC Milano e SWS Trento, 1993.
- Provincia Autonoma di Trento - Ufficio Idrografico, *Annali Idrologici. Anni 1975-1988*, Trento (anni di pubblicazione compresi tra il 1988 ed il 2002)
- Provincia Autonoma di Trento - Ufficio Idrografico, *Bollettino Idrologico. Anni 1998-2000*, Trento (anni di pubblicazione compresi tra il 1998 ed il 2002).
- Provincia Autonoma di Trento, *Integrazione dello studio di impatto ambientale relativo al progetto della diga di Valda per la laminazione delle piene del Torrente Avisio*, a cura di M. Fiorentino, Febbraio 2002.
- Regione Trentino-Alto Adige, *Atti della Conferenza dell'Adige*, Trento - 7-8 aprile 1967, Trento, 1967.
- Servizio Idrografico del Ministro dei Lavori Pubblici, *Dati caratteristici dei corsi d'acqua italiani*, Pubblicazione 17, II edizione, Roma, Istituto Poligrafico dello Stato, 1939.
- Todini E., *The ARNO rainfall-runoff model*, J. Hydrol., 175, 339-382, 1996.
- Tonini, D., *Elementi di idrografia ed idrologia*, Ed. Cortina, Padova, (ristampa anastatica dell'edizione edita a cura della Libreria Universitaria, Venezia, 1966).
- Ufficio Idrografico del Magistrato delle Acque di Venezia, *Bollettino Mensile, Annali Idrologici*, (anni vari).
- Università degli Studi di Trento, *Modello matematico generale del fiume Adige - Relazione Generale*, Trento, dicembre 1997.
- Villi V. e B. Bacchi, *Valutazione delle piene nel Triveneto*, edito a cura del CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, Pubbl. n° 2511, Perugia, Dicembre 2001.
- Weber von Ebenhof, A. R., *Der Gebirgs-Wasserbau im Alpinen Etsch-Becken und seine Beziehungen zum Flussbau des oberitalienischen Schwemmland*, Wien, Spielhagen & Schurich, 1892.
- World Meteorological Organisation, *Manual for estimation of probable maximum precipitation*, Operational Hydrology report n°1, Geneva, 1986.
- Zhao, R.J., Zuang Y., Fang L.R., Lin X.R. e Q.S. Zhang, *The Xinjiang model*, In: Hydrological Forecasting (Proc. Oxford Symp., April 1980), 351-356, IAHS Publ. no. 129, 1980.
-