



AUTORITA' DI BACINO DEL FIUME PO
PARMA



Regione Lombardia



Provincia di Sondrio

Analisi Idraulica sull'asta dell'Adda Sopralacuale finalizzata alla redazione delle mappe di pericolosità e del rischio alluvioni

Attuazione della direttiva 2007/60/CE a supporto del
progetto di variante generale del PAI

1 RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA



Ing. Baggini Amos
l.go Sindelfingen n°9
Sondrio (SO)



Ing. Begnis Raffaella
via Ninguarda n°45
Morbegno (SO)

**SERVIZIO PER ANALISI IDRAULICA SULL'ASTA DELL'ADDA
SOPRALACUALE FINALIZZATA ALLA REDAZIONE DELLE
MAPPE DI PERICOLOSITA' E DEL RISCHIO ALLUVIONI, IN
ATTUAZIONE DELLA DIRETTIVA 2007/60/CE ED A SUPPORTO
DEL PROGETTO DI VARIANTE GENERALE DEL PAI**

**MODELLAZIONE IDRAULICA DELLE PIENE DEL
FIUME ADDA SOPRALACUALE DA TIRANO ALLO
SBOCCO NEL LAGO DI COMO IN PROVINCIA DI
SONDRIO**

RELAZIONE TECNICO - ILLUSTRATIVA



Ente Committente: **Amministrazione Provinciale di Sondrio**

Professionisti incaricati:

- **Dott. Ing. Amos Baggini** con sede in Sondrio, L.go Sindelfingen, 9 iscritto all'Albo degli Ingegneri della Provincia di Sondrio al n. 149
- **Dott. Ing. Raffaella Begnis** con sede in Morbegno, via Ninguarda, 45 iscritta all'Albo degli Ingegneri della Provincia di Sondrio al n. 542

INDICE

1. PREMESSE		1
2. TOPOGRAFIA		3
3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO ED IDRAULICO		5
3.1. GENERALITA'		5
3.2. LA CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA DEL FIUME		5
3.2.1. Tratto dalla foce a Nuova Olonio/S. Agata		5
3.2.2. Tratto da Nuova Olonio/S. Agata al ponte di Mantello		7
3.2.3. Tratto dal ponte di Mantello al ponte di Ganda		10
3.2.4. Tratto dal ponte di Ganda alla passerella di Paniga		13
3.2.5. Tratto dalla passerella di Paniga alla traversa di Ardenno		15
3.2.6. Tratto dalla traversa di Ardenno al ponte di Berbenno		19
3.2.7. Tratto dal ponte di Berbenno alla confluenza col T. Mallero		22
3.2.8. Tratto dalla confluenza col T. Mallero al ponte di Faedo		25
3.2.9. Tratto dal ponte di Faedo al ponte della Streppona		29
3.2.10. Tratto dal ponte della Streppona alla traversa del Baghetto		32
3.2.11. Tratto dalla traversa del Baghetto al ponte di Tresenda		36
3.2.12. Tratto dal ponte di Tresenda al ponte di Stazzona		41
3.2.13. Tratto dal ponte di Stazzona al ponte SS 38 di Tirano		45
3.3. LA CARATTERIZZAZIONE IDRAULICA – LE SCABREZZE		48
3.3.1. Generalità		48
3.3.2. La metodologia		48
3.3.3. Affidabilità della stima delle scabrezze		61
4. IDROLOGIA		67
4.1. GENERALITA'		67
4.2. DEFINIZIONE DELLE PORTATE AL COLMO		67
4.2.1. Discretizzazione dei dati di P.A.I.		67
4.2.2. Portate derivanti dallo studio SP1		71
4.2.3. Portate con la metodologia "Progetto Flora"		72

4.3.	CONFRONTO DEI RISULTATI	74
4.4.	CONCLUSIONI.....	79
5.	IDRAULICA	82
5.1.	GENERALITA'	82
5.2.	MODELLO DI CALCOLO IDRAULICO UTILIZZATO	83
5.2.1.	Equazioni di base e schema risolutivo.....	83
5.2.2.	Procedura di calcolo utilizzata	85
5.2.3.	Schematizzazione idraulica delle sezioni trasversali dell'alveo	86
5.2.4.	Cambiamenti del regime di moto della corrente	87
5.2.5.	Condizioni al contorno	87
5.2.6.	Modalità di risoluzione delle equazioni alla base del modello.....	89
5.2.7.	Modalità di individuazione di eventuali risalti idraulici	90
5.2.8.	Caratteristiche del moto.....	91
5.3.	GEOMETRIA DI CALCOLO	91
5.4.	PORTATA DI CALCOLO E SCABREZZA	93
5.5.	CONDIZIONI AL CONTORNO	93
5.6.	RISULTATI	95
6 –	COMMENTO DEI RISULTATI	97
6.1.	TEMPO DI RITORNO 200 ANNI	97
6.2.	TEMPO DI RITORNO 500 ANNI	105
6.3.	TEMPO DI RITORNO 20 ANNI	111
7 –	ELENCO ELABORATI	117

1. PREMESSE

Il presente studio riguarda la modellazione idraulica delle piene del F. Adda a supporto del progetto di Variante del Pai in attuazione della Direttiva 2007/60/CE. La tratta in oggetto si estende dallo sbocco nel Lago di Como alla città di Tirano.

Esso è propedeutico alla redazione delle mappe di pericolosità e del rischio di alluvioni del territorio di fondovalle nella tratta suddetta.

In base all'accordo di programma tra l'Autorità di Bacino per il Fiume Po, la Regione Lombardia e la Provincia di Sondrio, quest'ultima è stata individuata come Ente attuatore delle fasi preliminari; pertanto il dirigente del settore "Pianificazione Territoriale, Energia e Cave" della Provincia di Sondrio ha conferito ai Professionisti in epigrafe, l'incarico per la modellazione idraulica, con determinazione n. 1006 del 19.07.2012.

Lo studio è stato predisposto in base alla "Specifica relativa all'attività di analisi idraulica sull'asta del F. Adda Sopralacuale" redatta da AdBPo, Regione Lombardia e Provincia di Sondrio, che definisce le linee guida e gli obiettivi di tale attività tecnica.

In particolare lo studio è stato sviluppato secondo le seguenti fasi:

1. presa visione della direttiva di cui sopra;
2. presa visione della topografia di base con analisi critica e integrazione con rilievi in situ per quanto necessario;
3. presa visione delle risultanze idrologiche del F. Adda derivanti dal "Progetto Flora" e predisposizione di un modello idrologico semplificato e coerente con la necessità di utilizzare portate variabili lungo il tratto oggetto di studio;
4. stima della scabrezza delle sezioni mediante sopralluogo speditivo;
5. modellazione idraulica con modello monodimensionale HEC-RAS 4.1.0 per Tr 20, 200 e 500 anni, condivisione dei risultati e taratura del modello idraulico in accordo con l'AdBPo, analisi critica delle risultanze ed individuazione di eventuali circoscritte singolarità da sottoporre ad approfondimento topografico e idraulico;
6. redazione della relazione descrittiva dell'attività svolta e restituzione dei risultati forniti dal programma HEC-RAS relativi ai parametri utili per la "valutazione del rischio idraulico" in formato tabellare, come richiesto dalla Specifica relativa all'attività di analisi idraulica dell'asta del F. Adda Sopralacuale - "Disposizioni sulla consegna degli elaborati".

I sottoscritti quindi si sono attivati immediatamente per esaurire le fasi 1 – 4, preliminari alla modellazione, secondo i seguenti fronti:

- Verifica della topografia disponibile da D.T.M. fornito ed elaborato allo scopo per la Provincia di Sondrio da AdBPo, anche con la collaborazione dell'Ing. Calcinati e del Dott. Geol. Moriondo messi a disposizione dallo S.T.E.R. di Sondrio, confronto con dati topografici disponibili da altre fonti, integrazione dei rilievi eseguiti su nostra indicazione dallo studio Arch. Olzer di Sondrio allo scopo incaricato dalla Provincia, soprattutto per la topografia dei ponti ed una attenta omogeneizzazione delle quote assolute;
- Presa visione di altri studi eseguiti negli anni passati da Enti e/o altri professionisti; in particolare sono stati resi disponibili gli studi effettuati dal Lago di Como a Paniga e da Stazzona a Tirano dall'Ing. Marco La Veglia di AlPo di Cremona utili sia per la topografia che per un confronto tecnico;
- Attento sopralluogo su tutto il corso del F. Adda dalla foce nel lago di Como all'abitato di Tirano, su entrambe le sponde, al fine di valutare lo scenario idrogeologico e morfologico del Fiume, stimare di conseguenza le scabrezze dell'alveo di piena ordinaria e delle golene, verificare qualitativamente i rilievi disponibili, evidenziare dettagli delle difese arginale e spondali non emergenti dalla topografia utilizzabile, stimare la batimetria, valutare dettagli e peculiarità dell'alveo utili alla modellazione.
- Acquisizione di dati di portata, livelli idrici, onde di piena da parte di Enti coinvolti nella problematica Adda (Enti di produzione idroelettrica, Consorzio Adda ecc) utili per la predisposizione di modello idrologico semplificato e/o taratura del modello idraulico.

Queste attività, durate praticamente per tutto l'autunno e l'inverno, hanno consentito di valutare l'affidabilità degli strumenti topografici disponibili, affrontare le fasi successive con cognizione di causa e di confrontarsi periodicamente e criticamente con gli uffici di AdBPo man mano che il lavoro proseguiva.

2. TOPOGRAFIA

La base topografica della presente modellazione idraulica scaturisce dalla critica sovrapposizione di tutte le basi informative messe a disposizione dagli enti e soggetti coinvolti:

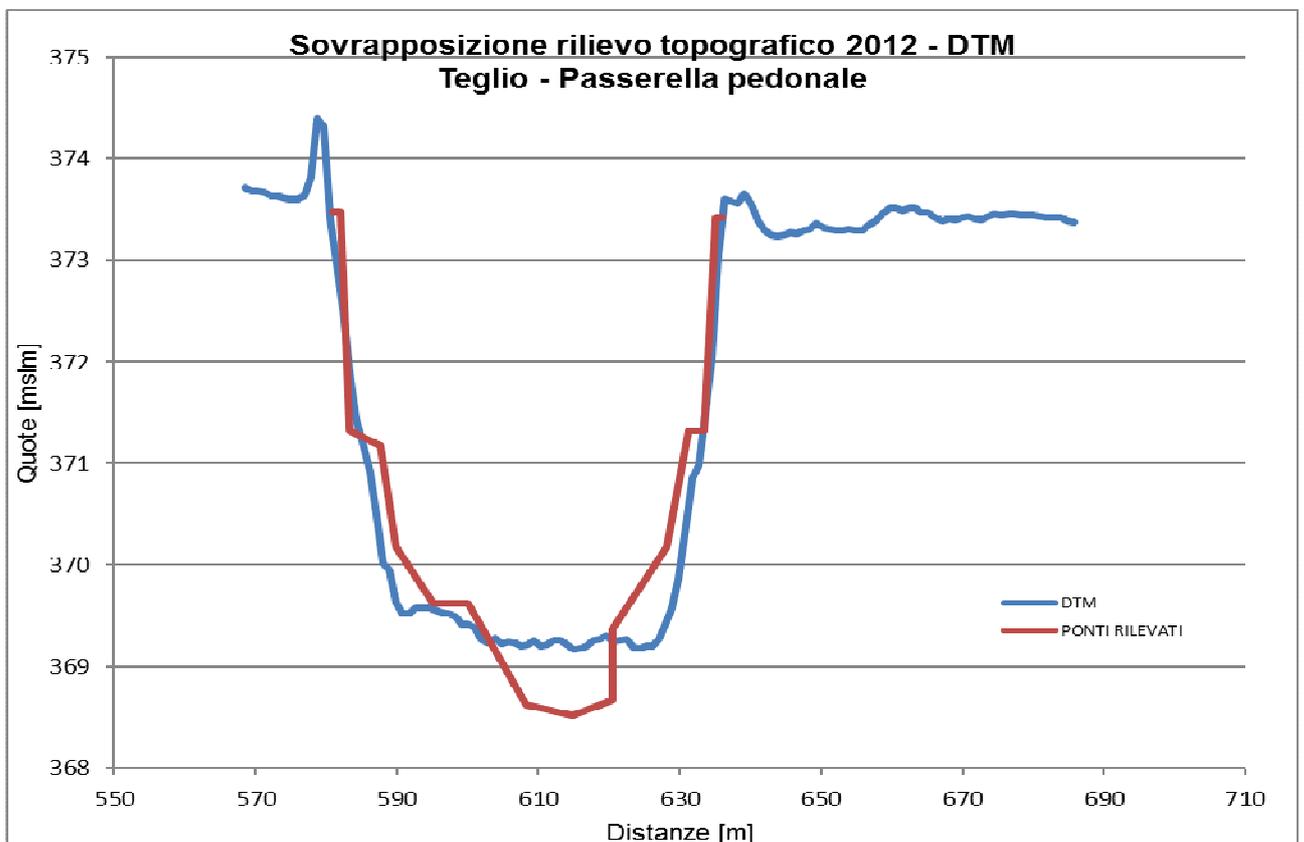
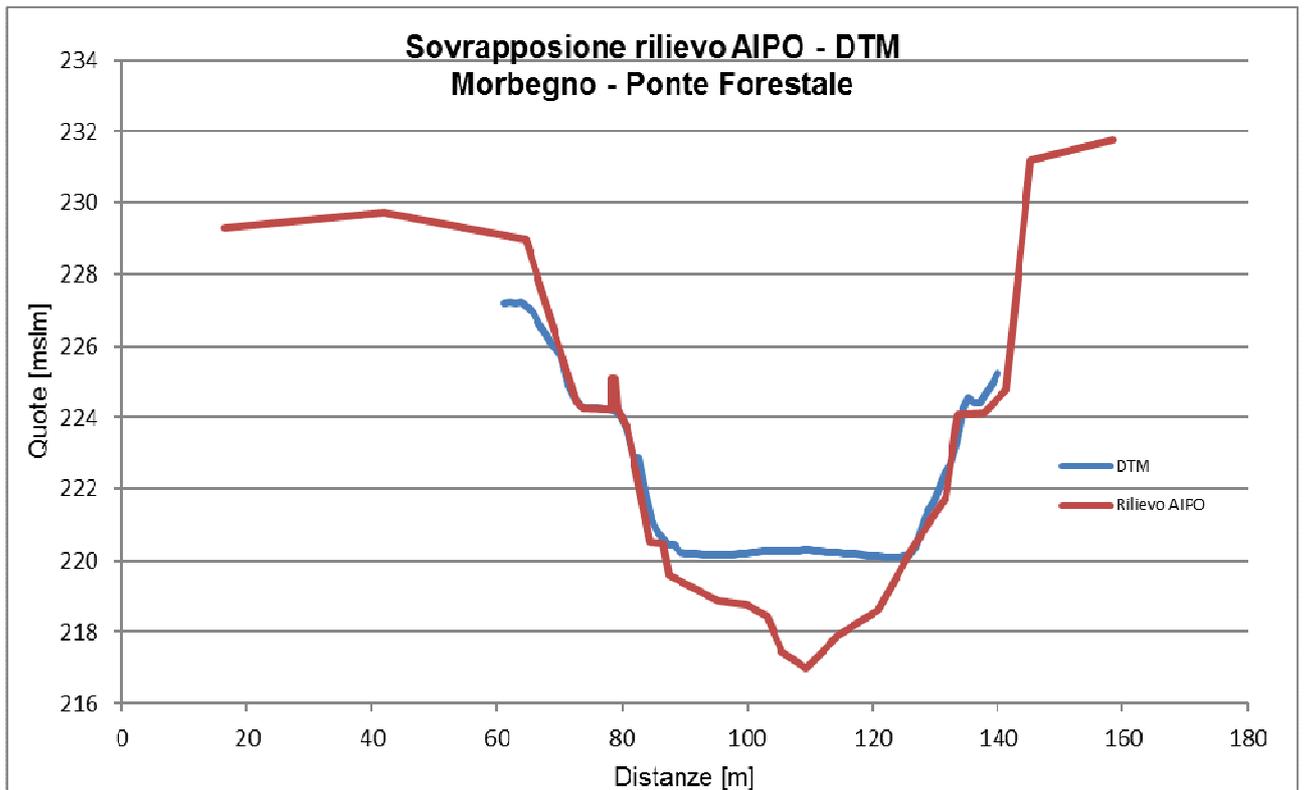
- Modello Digitale del Terreno (in seguito DTM) a maglia 1m x 1m di tutto il fondovalle per tutta la tratta analizzata;
- sezioni topografiche e geometria di 7 ponti tratti dal modello idraulico di AIPo nella tratta Fuentes - Paniga e Stazzona-Tirano;
- rilievi topografici eseguiti ad hoc nel 2012-2013 di 21 ponti e alcune tratte circoscritte (Amonini e Boffetto);
- rilievi topografici a disposizione degli scriventi:
 - a. rilievo topografico 2011 della zona d'alveo a Morbegno a monte del ponte di Ganda e struttura del ponte di Ganda;
 - b. geometria del ponte di Mantello;
- geometria del ponte di Albosaggia messa a disposizione dalla Provincia di Sondrio;
- geometria delle traverse di Ardenno e Baghetto messe a disposizione dallo STER di Sondrio;
- sezioni topografiche del modello idraulico Real Time dell'AdBPo.

Il modello geometrico si estende da Fuentes per 70 chilometri verso monte fino ad arrivare al centro abitato di Tirano, comprende 244 sezioni trasversali, 31 strutture di attraversamento e 2 traverse fluviali.

Le quote di fondo alveo, non rilevate dal DTM a seguito della presenza d'acqua, sono state stimate durante la fase di caratterizzazione geomorfologica dell'alveo e supportate dalle quote note in corrispondenza dei ponti rilevati e del rilievo di AIPo tra Fuentes e Morbegno. Lo STER di Sondrio ha proceduto ad una verifica dell'affidabilità del DTM sovrapponendo le sezioni da questo tratte e le topografie derivanti da rilievi di campagna da cui è emerso:

- un'ottima rispondenza per i punti esterni alle zone interessate dall'acqua al momento dell'esecuzione del DTM;
- alcune incongruenze puntuali in presenza di fitta vegetazione in aree golenali o strutture singolari.
- scostamenti significativi A MONTE DELLA SEZ. 321 TRA DATI dtm E MODELLO Real Time.

Si riportano di seguito due esempi della sovrapposizione topografica effettuata.



3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO ED IDRAULICO

3.1. GENERALITA'

Le analisi e gli approfondimenti esaminati nel capitolo precedente, vengono di seguito descritti sinteticamente per una comprensione corretta dei parametri utilizzati nella modellazione e dei dati di portata.

Partendo dal presupposto che la conoscenza dettagliata dell'ambiente in cui si opera è il prerequisite indispensabile per una corretta interpretazione dei fenomeni, in questo capitolo vengono descritte le caratteristiche di natura geomorfologica del fiume nonché quelle idrauliche, finalizzate più che altro alla determinazione delle scabrezze ed alla comprensione dei risultati della modellazione che ne deriva.

I sopralluoghi sono stati effettuati nel periodo tardo autunnale ed invernale, quello più adatto per un esame approfondito. Infatti la scarsa portata presente ha consentito di valutare le caratteristiche dell'alveo di piena ordinaria, solo minimamente occupato dall'acqua, delle sponde con relative difese eventualmente presenti, e valutare, quasi sempre solamente con semplici rilievi visivi, con buona approssimazione la batimetria, consentendo di stimare il profilo di fondo alveo. La mancanza poi di fogliame è stata essenziale per esaminare in dettaglio opere eventualmente non evidenziate dal DTM e avere una visione allargata alle golene potenzialmente allagabili in caso di evento significativo.

3.2. LA CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA DEL FIUME

Nel seguito si descrivono in maniera sintetica gli aspetti più salienti da questo punto di vista, dividendo il fiume in tratte ritenute più o meno omogenee, procedendo dallo sbocco in Adda fino all'abitato di Tirano.

3.2.1. Tratto dalla foce a Nuova Olonio/S. Agata

Questa tratta è caratterizzata da un evidente intervento antropico di rettifica dell'andamento naturale del fiume, che è stato intrapreso con successo dal governo austriaco a partire dalla metà del 1800, finalizzato al recupero e bonifica delle aree impaludate occupate dai meandri del vecchio alveo (alcuni tratti "morti" sono ancora individuabili a vista) che sfociava nel lago di Novate Mezzola a ovest di Nuova Olonio.

Tale intervento ora individua un alveo di piena perfettamente incanalato con alcune piccole golene createsi naturalmente nel corso del secolo scorso, ben

delimitato da importanti arginature inerbite. Esternamente agli argini si individuano due vaste aree di soggiacenza, influenzate dai livelli idrici del Lago di Como con periodiche sommersioni: a nord la piana totalmente agricola e/o incolta detta "Pian di Spagna" con le sue ben note peculiarità naturalistiche (Oasi naturale) e a sud la Piana agricola di Colico con i due rilievi rocciosi del Montecchio Nord e del Colle di Fuentes e più a monte la Piana agricola di S. Agata/Piantedo. L'alveo inciso presenta sponde quasi sempre naturali in buono stato di stabilità, così come altrettanto buono è lo stato degli argini. Le modeste golene sono parzialmente occupate da rara vegetazione di piante igrofile non particolarmente invasive. Granulometricamente l'alveo è caratterizzato da materiale fine (sabbie, limi con rare lenti ghiaiose) con buon grado di scorrevolezza delle acque (vedasi paragrafo 2.2 – Scabrezze). E' comunque evidente il fenomeno di rigurgito dovuto alle quote del Lago ed alle modestissime pendenze che caratterizzano il fondo. La presenza di battenti d'acqua significativi (2/4 m) anche nel periodo di magra sta a dimostrazione di quanto detto.



Foto 1 : Tratto terminale - Sono evidenti gli argini e le modeste golene.

In questa tratta è presente anche il ponte della SS. 36, che con le numerose pile in alveo, crea indubbiamente ostacolo al transito di piene di carattere straordinario, come risulta dalle modellazioni



Foto 2 : Ponte SS. 36 a Fuentes.

3.2.2. Tratto da Nuova Olonio/S. Agata al ponte di Mantello.

In corrispondenza della Sez. PAI 207 il fiume riprende la sua connotazione naturale. Finisce quindi la parte rettificata e inizia una tratta caratterizzata da tre evidenti meandri. Le arginature esistenti a valle chiudono in destra in corrispondenza dello scarico della centrale di Monastero creando una modesta golena, in sinistra nella piana di Delebio racchiudendo una vasta golena attraversata dal Canale detto della Pala Marcia. L'alveo naturale come detto presenta tre notevoli meandri inseriti nella piana alluvionale di Dubino - Delebio, segno evidente dell'andamento placido del corso d'acqua, e della scarsa pendenza longitudinale. Le aree tra i meandri sono generalmente agricole, poco elevate rispetto all'alveo inciso; l'area sinistra è addirittura depressa e percorsa da canali di drenaggio. Le sponde sono quasi sempre naturali, generalmente in buono stato, con qualche residuo di boschina ripariale di piante igrofile autoctone.



Foto 3 : L'Adda in corrispondenza del meandro di Dubino.

In corrispondenza del meandro più a monte il fiume è attraversato dal ponte di Dubino di recente costruzione che si può ritenere idraulicamente compatibile.



Foto 4 : Ponte strada provinciale per Dubino.

A monte di detto ponte in destra è presente un'ampia golena tra gli abitati di Dubino e Mantello e delimitata dalle pendici retiche della costiera dei "Cech", attraversata da T. Vallate che sfocia in Adda a monte di Dubino. Tale alveo è pensile rispetto alla piana pertanto non soggetto a rigurgito delle piene dell'Adda.

In sponda sinistra la piana si raccorda dolcemente alla conoide alluvionale del T. Lesina che sfocia in Adda di fronte all'immissione del T. Vallate. Appena a monte scarica il canale di bonifica della piana detta della Bolgia, abbastanza depressa rispetto alle quote di sponda, estesa tra le pendici delle Orobie fino all'abitato di Cosio Valtellino. Entrambe le immissioni sono soggette a fenomeni di rigurgito. La zona è tendenzialmente agricola, tranne una zona produttiva di un certo impatto ubicata appena a valle del ponte per Mantello.

In questo tratto il fiume, dopo una modesta zona di deposito, aumenta la sua pendenza ed è caratterizzato da velocità più elevate e da un alveo attivo tendenzialmente in erosione; sono presenti due soglie di fondo in massi sciolti costruite dopo gli eventi alluvionali del 1987.



Foto 5 : Il fiume tra lo sbocco del T. Lesina e il ponte di Mantello. In evidenza la soglia di fondo in scogliera sciolta.

Dalla piana in sponda sinistra proviene la strada provinciale per Mantello, che attraversa l'Adda con un ponte in c.a. di recente costruzione a valle del quale vi è una soglia di fondo in c.a. e gaveta in pietrame granitico.



Foto 6 : Ponte strada provinciale per Mantello.

3.2.3. Tratto dal ponte di Mantello al ponte di Ganda.

A monte del ponte di Mantello inizia una lunga tratta (circa 5 km) di alveo oggetto di consistenti interventi di arginatura eseguiti dopo l'alluvione del 1987, che termina in corrispondenza dell'isola della Valletta. L'alveo risulta canalizzato con andamento curvilineo a seguire la conoide del vallone di Traona proveniente dal versante retico. La sezione trasversale è compresa tra i due argini in terra che distano tra di loro circa 160-200 m, tra i quali corre il fiume individuando un alveo attivo caratterizzato da un susseguirsi di tratte in deposito e tratte in escavazione e locale formazione di isolotti e doppi alvei di piena ordinaria. Le modeste golene laterali sono fittamente vegetate da piante ed arbusti; le sponde dell'alveo attivo si presentano quasi sempre naturali con localizzati fenomeni di scalzamento.

La parte arginata termina in corrispondenza dell'isola della Valletta dove l'argine destro si attesta alle murature di sostegno della strada Valeriana Retica, e quello di sinistra si smorza a livello campagna in corrispondenza del centro sportivo di Cosio Valtellino



Foto 7 : Il fiume tra il ponte di Mantello e quello di Traona.

A circa metà di questa tratta il fiume è attraversato dal ponte della strada provinciale per Traona, struttura di non recente costruzione in pessimo stato soprattutto per ciò che concerne le tre pile in alveo che si presentano notevolmente scalzate coi pali di fondazione in vista.



Foto 8 : Il ponte di Traona visibilmente scalzato.

Esternamente all'argine maestro di destra si estende la piana di Traona, quasi completamente agricola e abbastanza depressa nella parte verso il fiume, tanto che è qui percorsa da un canale di bonifica, anche recapito del T. Vallone di Traona, che sfocia in Adda in corrispondenza dell'abitato di Piussegno. Date le quote da tale canale la piena può rigurgitare con allagamento di una estesa porzione di territorio agricolo. Lo sbocco invece del T. Valle di Siro risulta pensile e ben arginato.

In sponda sinistra continua la piana detta della Bolgia, di cui già si è accennato prima, percorsa dal canale di bonifica e da una serie di fossi secondari. La zona si estende tra le pendici delle Orobie fino all'abitato di Cosio Valtellino ed è abbastanza depressa rispetto alle quote di sponda, e soggetta quindi anch'essa a fenomeni di rigurgito con allagamento di una estesa porzione di territorio agricolo. A monte della strada provinciale per Traona nella piana sono insediate alcune unità produttive di una certa consistenza.

A monte della parte arginata, dopo l'isola della Valletta, protetta e conservata dagli interventi di regimazione suddetti, inizia una tratta dove l'Adda, spinta dalle alluvioni dell'ampia conoide del T. Bitto, corre parallelamente al versante retico fino al Ponte di



Foto 9 : Il tratto canalizzato attiguo all'abitato di Morbegno; a valle il ponte di V. Forestale

Ganda. Il fiume corre quindi rettilineo tra la sponda destra arginata dai muri di sostegno della strada provinciale Valeriana e la sinistra arginata lungo la Via Lungo Adda.

In sinistra sfocia il T. Bitto, recentemente oggetto di imminenti interventi di ottimizzazione della confluenza in occasione della prosecuzione della SS. 38.

In questa tratta vi sono due attraversamenti viabili importanti: il ponte della Strada Provinciale di Via Forestale e quello storico di Ganda.

Il primo supera l'Adda con due campate senza creare grossi ostacoli alle piene. Appena a valle è stata recentemente costruita una soglia di fondo, a protezione del ponte stesso, ad una quota di gaveta piuttosto elevata.



Foto 10 : Il ponte di Ganda ed il tratto terminale della parte canalizzata attiguo all'abitato di Morbegno.

Il secondo, storico costruito in pietrame, supera l'Adda con tre campate ad arco e tipica forma a cuspidi del piano viabile. I lumi sono molto stretti e creano notevole ostacolo al passaggio della piena, come si avrà modo di verificare nel capitolo dei risultati della modellazione.

3.2.4. Tratto dal ponte di Ganda alla passerella di Paniga.

A monte del ponte di Ganda il fiume si distacca dalla sponda retica con una secca curva verso sud e segue per circa 1 km il ventaglio del suddetto conoide del Bitto per percorrere poi, dopo un'altra curva verso nord, la porzione mediana della piana

alluvionale dell'Adda, tra il versante retico di Campovico – Paniga e quello orobico tra Morbegno e Talamona, dove inizia l'enorme conoide del T. Tartano.

La tratta è caratterizzata dalla costante arginatura in sponda sinistra che dapprima è rappresentata da una modesta muratura in pietrame e cls fino alle pertinenze della Colonia fluviale, poi da un vero e proprio argine in terra con difese spondali in scogliera intasata che si attesta alla spalla della passerella di Paniga; sia l'argine che la passerella sono state costruite dopo gli eventi del 1987 che avevano invaso la piana di Talamona, completamente ricostruita e in parte sede di parco cittadino, con distruzione delle difese spondali allora esistenti e compromissione della passerella.

In sponda destra invece l'argine si discosta dall'alveo di pieno ordinaria in corrispondenza della vecchia centrale di Campovico, individuando una ampia golena agricola. Verso l'abitato di Paniga l'arginatura si attesta sulla spalla destra della passerella.

In sinistra appena a valle del ponte di Ganda si immette il canale di bonifica della piana di Talamona e della zona industriale di Morbegno – Talamona. Come nei casi precedenti da tale canale si ha la risalita dei peli liberi per rigurgito che interessano parte della piana agricola. La zona industriale, posta a quote più elevate, non risente di tale fenomeno.



Foto 11 : Il tratta a monte di Morbegno, in corrispondenza delle vecchie escavazioni in alveo.

L'alveo nel tratto immediatamente a monte del ponte di Ganda è caratterizzato da pendenza modesta fino alla fine della "esse", dove sono ancora evidenti i segni delle escavazioni in alveo di un impianto di lavorazione degli inerti.

Risalendo il fiume diventa più attivo a causa dell'aumento della pendenza. Si susseguono brevi zone di deposito a brevi raschi a pendenza marcata, con andamento ed aspetto abbastanza naturale. La gola in destra è occasionalmente occupata da vegetazione.



Foto 12 : Il tratto immediatamente a valle della passerella di Paniga con le evidenti arginature verso la piana di Talamona in sinistra e sulla destra quella a protezione dell'abitato di Paniga

3.2.5. Tratto dalla passerella di Paniga alla traversa di Ardenno.

Il tratto in oggetto è dal punto di vista morfologico molto tormentato e vario. Sostanzialmente il fiume è costretto ad un percorso tormentato a causa della presenza in sinistra della conoide del T. Tartano, come noto molto attiva. Quindi all'uscita della traversa di Ardenno (opera di presa Enel della centrale di Monastero) il fiume è spinto ad ogni piena verso il massiccio roccioso della Colma di Dazio e ne segue i contorni al piede descrivendo una "esse" molto marcata. Le confluenze del T. Masino a monte in destra e del Tartano stesso apportano inoltre notevoli quantità di materiali solidi, soprattutto il secondo che, sovralluvionando l'alveo, ne strozza sensibilmente la sezione. Ne consegue anche un andamento planimetrico

caratterizzato da pendenze modeste a monte della confluenza del Tartano ed una piccola rapida fino alla passerella di Paniga.



Foto 13 : Il tratto in corrispondenza dello sbocco del T. Tartano. E' ben evidente la natura del materiale e la strozzatura causata dal ponte ferroviario.

La sponda destra a valle dello sbarramento fino alla confluenza del T. Masino è artificiale, costituita dalle opere di sghiaimento e scarico della opera di presa Enel; anche dopo la sponda è stata consolidata negli anni '80 del secolo scorso con una robusta scogliera che ridisegna lo sbocco del T. Masino e si raccorda a valle al versante roccioso della Colma di Dazio. La sponda destra continua naturale e rocciosa fino a valle del ponte della ferrovia e quindi fino alla passerella, delimitando verso l'abitato di Paniga una modesta golena agricola.

Anche in sinistra a valle dello sbarramento, fino allo sbocco del canale di Bonifica di Sirta, le sponde sono artificiali e rappresentano il prolungamento del muro andatore dell'opera Enel. Segue quindi un tratto di sponda più o meno naturale, con solo qualche consolidamento in scogliera di fronte all'immissione del T. Masino, sostanzialmente fino al ponte ferroviario. In corrispondenza dello sbocco del T. Tartano la sponda è rinforzata con robuste murature, aventi anche funzione di soglia di fondo della corrente idrica del torrente orobico.



Foto 14 : Il tratto immediatamente a valle della traversa Enel e le relative opere.

Il letto del fiume è caratterizzato dalla presenza costante di ciottoli di varia pezzatura, passando da quelli di più modeste dimensioni presenti nella parte più a monte, fino alla confluenza del T. Tartano, dove la pezzatura assume anche dimensioni di veri e propri massi. Come già accennato la presenza di questi depositi ha indotto negli anni 1980/90 l'allora Magistrato per il Po ad interventi di svaso e riprofilatura importanti, anche in funzione delle quote di scarico della acque della Piana della Selvetta.

Il tratto in esame è interessato dall'attraversamento della SS. 38 con un ponte realizzato dopo l'alluvione del 1987 che presenta due pile in alveo e spalle che individuano una larghezza d'alveo di oltre 100 m. Dal punto di vista idraulico non crea grossi ostacoli al transito della piena.

Diversamente il ponte della ferrovia, un'imponente struttura ad arco in pietrame e cls, rappresenta un'importante strozzatura con problemi di rigurgito e innalzamento quindi delle quote di pelo libero a monte. La zona comunque è completamente sgombra da qualsiasi intervento antropico che possa essere coinvolto dai profili di piena.



Foto 15 : Il tratto tra la traversa Enel ed il ponte SS. 38 che si vede in lontananza; sulla destra lo sbocco del Masino parzialmente oscurato dalla vegetazione e sullo sfondo il ponte della SS. 38.

Il ponte di Paniga, anch'esso ricostruito dopo il 1987, in acciaio e a campata unica non crea particolari problemi al transito delle piene.



Foto 16 : Il ponte di Paniga visto da valle. Sono ben evidenti le scogliere eseguite dopo l'alluvione del 1987

3.2.6. Tratto dalla traversa di Ardenno al ponte di Berbenno.

Questo tratto è dal punto di vista morfologico pesantemente caratterizzato dalla presenza dell'invaso Enel di Ardenno, costruito all'inizio degli anni '60 del secolo scorso per alimentare la centrale di Monastero, allora proprietà delle Ferrovie dello Stato. Infatti per circa 6 Km l'Adda è costretta tra due importanti arginature atte a garantire una quota d'invaso utile ai fini idroelettrici. Di fatto il fiume è pensile rispetto alla piana sia di destra (la vasta Piana della Selvetta) sia di sinistra (la modesta fascia pianeggiante ai piedi delle Orobie), dove sono ubicati i Paesi di Selvetta e Sirta (sede comunale). Come noto durante l'alluvione la rottura dell'argine destro in corrispondenza della "Punta di Rodolo" ha causato l'allagamento completo della Piana con successivi interventi di bonifica, di costruzione della così detta Via di Fuga e di consolidamento pesante degli argini da parte di Enel, con diaframature e consolidamenti.

Il tratto quindi si presenta come un lago artificiale di modesta larghezza racchiuso dagli argini e occupato quasi completamente dalle acque dell'invaso. Ovviamente le pendenze sono modestissime e le acque, anche in caso di piena, scorrono lente con battenti anche significativi; il materiale costituente l'alveo è fine (limi e sabbie limose). E' evidente che dal punto di vista idraulico l'invaso non costituisce ostacolo al transito delle piene ed anche le opere di sbarramento in caso di piena garantiscono il transito di portate anche bicentinarie con franchi accettabili.



Foto 17 : Il tratto immediatamente a monte dello sbarramento di Ardenno. Le portate sono modeste e le quote di invaso minime per consentire lo sfruttamento idroelettrico.

Solo nella tratta più a monte, dove l'effetto dell'invaso si annulla, l'alveo, pur sempre arginato su entrambe le sponde fino al ponte di Berbenno, assume una connotazione più naturale, con leggero aumento delle pendenze anche se con andamento sempre placido, ma planimetricamente più vario. Qui si immette in sinistra il T. Madrasco, torrente orobico caratterizzato da piene catastrofiche nell'abitato di Fusine (l'ultima nel 1987). Lo sbocco è stato opportunamente regimato e la corrente avviata verso valle, in modo tale da non costituire problemi in caso di piena del Madrasco.

All'esterno dell'argine sinistro, tra l'alveo canalizzato del suddetto T. Madrasco, il conoide del T. Presio e il versante orobico della Punta di Rodolo, si apre una piana agricola, abbastanza depressa dal punto di vista topografico percorsa da alcuni fossi di bonifica, quindi soggetta a fenomeni di rigurgito delle piene dell'Adda.



Foto 18: Il tratto tra la fine dell'invaso e il ponte di Berbenno, visibile sullo sfondo. Si intravede lo sbocco del T. Madrasco che col suo trasporto solido crea modeste zone di deposito.

Diversi sono i ponti che attraversano il Fiume.

Partendo da valle si ha quello di Sirta, poi quello di Selvetta, entrambi nella zona di invaso. Non costituiscono particolare ostacolo al transito delle piene.



Foto 19 : Il ponte di Sirta con le sue numerose pile.

Più a monte vi è quello della strada provinciale orobica di Berbenno/Fusine che si presenta notevolmente scalzato; dal punto di vista idraulico, nonostante le numerose pile in alveo il rigurgito prodotto non è significativo.



Foto 20 : Il ponte di Berbenno – Fusine con le sue pile scalzate.

3.2.7. Tratto dal ponte di Berbenno alla confluenza col T. Mallero.

E' un tratto abbastanza naturale, non particolarmente canalizzato e solo saltuariamente arginato.

Risalendo da valle, fino all'immissione del T. Cervio la sponda sinistra è priva di argini e solamente protetto da scogliera spondale. Tra il versante orobico e il fiume si apre una piana agricola, depressa dal punto di vista topografico e percorsa da alcuni canali di bonifica costruiti dopo l'alluvione del 1987. L'area, completamente agricola, svolge funzione di golena con naturale esondazione e modesta laminazione.

In sponda destra invece vi è un'arginatura che dal ponte di Berbenno scema in corrispondenza della vasta conoide del T. Caldenno. In questo tratto vi è la problematica immissione del T. Finale, oggetto di pesanti interventi di regimazione non ancora conclusi, che sfocia in Adda in regime rigurgitato quindi con problematiche di allagamenti nella piana che si presentava paludosa fino agli inizi degli anni '80 del secolo scorso, poi trasformata in zona produttiva.

In questo tratto l'alveo si presenta naturale con pendenze modeste e andamento leggermente sinuoso, con modeste zone di deposito soprattutto dovuto al trasporto solido del t. Cervio.



Foto 21: Il tratto di fiume alla confluenza del T. Cervio.

Dallo sbocco del T. Cervio a quello del T. Livrio, le due sponde hanno caratteristiche diverse.

La sinistra è protetta da un argine maestro che separa l'Adda dal versante orobico, fino alla conoide del T. Ravione e poi del T. Livrio. Si identifica una prima piana alluvionale (di Cedrasco) agricola molto simile alla precedente, interessata da canali di bonifica, di cui il principale (canale Bachetto) che sfocia a monte dell'immissione del T. Crevio, soggetta a fenomeni di rigurgito delle piene dell'Adda.

Una seconda più a monte, occupata quasi interamente dall'Aviosuperficie di Caiolo e dal campo di golf, è protetta dall'argine ma anch'essa soggetta a rigurgito dal canale di bonifica principale (Canale Bachetto). All'interno dell'argine si identifica una zona golenale di valenza naturalistica.

La sponda destra è completamente naturale e confina con la piana tra la conoide alluvionale del T. Caldenno e quella del T. Vendolo (o Bocco). Qui sono localizzate due importanti attività una volta di estrazione inerti dall'Adda ora solamente di lavorazione e impianti di betonaggio.

A monte del T. Vendolo vi è una modesta arginatura che chiude sullo sperone roccioso della Sassella più a monte.

Tra l'argine e il versante retico si apre una vasta piana, piuttosto depressa, parzialmente occupata da una consistente zona produttiva (Castione) prospiciente la SS. 38. Solo più verso il versante montuoso tale piana è stata conservata a scopo agricolo. È percorsa da alcuni fossi di recapito di risorgive che sfociano in Adda a valle della zona industriale e risentono del rigurgito dal fiume.



Foto 22 : Il tratto di fiume a valle del ponte di Caiolo, visibile in lontananza.

In questa tratta l'alveo di piena ordinaria si presenta in buono stato e abbastanza naturale, con andamento sinuoso imposto dalle conoidi laterali, retiche ed orobiche, e da discreta pendenza e quindi capacità di deflusso; il fondo è caratterizzato da materiale di media pezzatura (ghiaie e ciottoli).

A valle del T. Livrio esiste l'attraversamento della strada provinciale per Caiolo, costruito recentemente con una campata centrale molto ampia (circa 96,0 m), ininfluenza sulle piene del fiume.

Tra lo sbocco del T. Livrio e quello del T. Mallero, dal punto di vista morfologico il fiume è caratterizzato da una discreta pendenza e sezione sufficiente al transito delle piene, con invasione della golenale sinistra anche per piene di carattere non eccezionale. Planimetricamente è influenzata dalla vastissima conoide del T. Torchione, tributario del versante orobico, che lo costringe verso lo sperone retico della Sassella. Tra il fiume e questo transitano sia la ferrovia che la SS 38, protette da una modesta arginatura.

Alla confluenza del T. Mallero sono state eseguite opere di regimazione ed avviamento della corrente per facilitare il transito del solido proveniente dal Mallero. Pure sulla sponda sinistra sono state eseguite opere di consolidamento spondale per evitare scalzamenti provocati dalla più impetuosa e dominante corrente del Mallero rispetto a quello dell'Adda, come successe durante l'alluvione del 1987, e pertanto risulta idraulicamente ben protetta. Tra la confluenza del Mallero e lo sperone della Sassella la modesta area golenale ospita il parco cittadino del capoluogo.

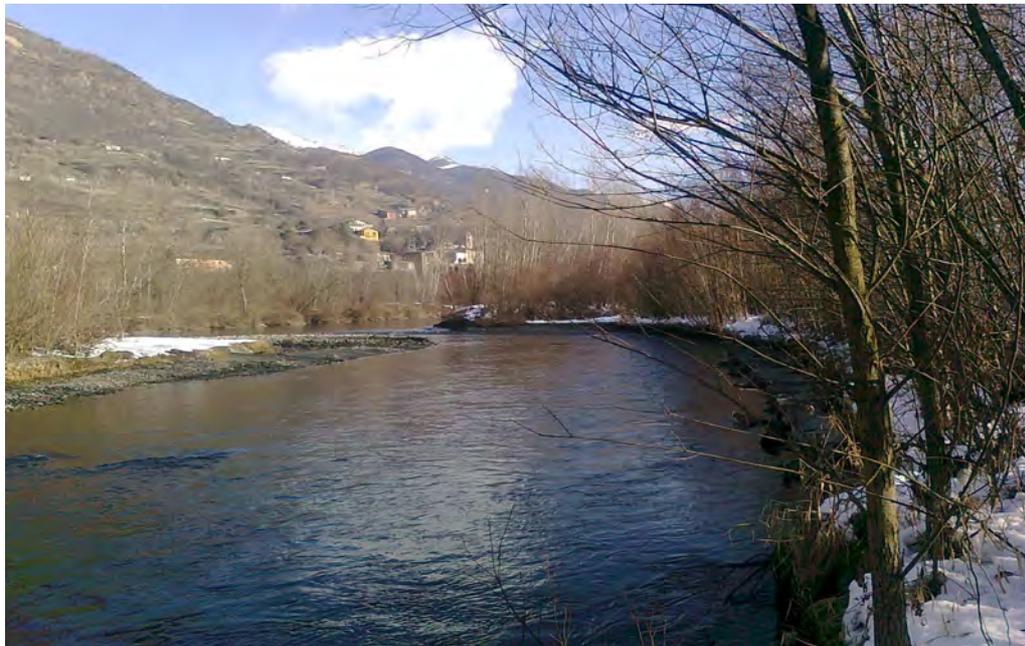


Foto 23 : Il tratto di fiume a valle della confluenza del T. Mallero. Si scorge in sponda sinistra lo sperone roccioso della Sassella.

3.2.8. Tratto dalla confluenza col T. Mallero al ponte di Faedo.

A monte della confluenza col T. Mallero inizia una lunga tratta (quasi 5 km) di alveo abbastanza regolare dove il fiume percorre le pendici delle Orobie lì sospinta dalla conoide del T. Mallero, e vi si discosta solamente nella parte terminale della tratta per la presenza di un ampio serpeggiamento dovuto allo sbocco del T. Venina e della sua conoide. L'alveo di piena ordinaria è ben delimitato e talora coincidente con quello di piena eccezionale. Solamente in destra, in corrispondenza della tangenziale di Sondrio, che sostanzialmente fa da argine golenale, le quote sono tali da essere oggetto di esondazione per piene anche ordinarie, individuando un'ampia golena attualmente occupata dal "parco cittadino dell'Adda".



Foto 24 : Il tratto di fiume tra la confluenza del T. Mallero ed il ponte di Albosaggia. .
Si nota la passerella del sentiero Valtellina e si intuisce, in destra, la golena, parte terminale del parco dell'Adda.

All'esterno di tale golena, prima di giungere alla zona antropizzata del capoluogo, esiste una piana attualmente quasi totalmente agricola soprattutto nella parte est, attraversata da alcuni canali e fossi di drenaggio che scaricano in Adda appena a valle del ponte per Albosaggia (scarico modificato da ANAS in sede di realizzazione della tangenziale di Sondrio). Le quote di tale porzione di territorio sono molto

deprese e soffrono del rigurgito delle acque di piena del F. Adda che, come durante i fenomeni alluvionali del 1960 e 1987, vengono invase dalle acque.

Come già accennato, in corrispondenza della porzione di territorio tra lo sbocco del T. Venina ed il versante orobico in sponda sinistra, si è formata nei secoli una boschina ripariale con rami morti del fiume di notevole interesse naturalistico, inserito dalla Regione Lombardia tra le riserve naturali ("Bosco dei Bordighi"); tale area è ovviamente più o meno interessata dalle piene anche ordinarie.

L'alveo è un alternarsi di piccole aree di deposito (sabbie grossolane e ghiaie), raschi e modesti fondali (residuo delle zone di estrazione di inerti), con andamento gradevolmente sinuoso. La pendenza è più o meno costante per tutta la tratta. Le sponde sono quasi sempre naturali o al più consolidate da scogliere sciolte, che sono evidenti nella sponda sinistra di fronte all'immissione del T. Mallero e nella destra a valle dl ponte di Faedo – Piateda. La presenza di vegetazione ripariale è una costante per tutto il tracciato, soprattutto ove ambientalmente protetta (parco Adda e Bosco Bordighi).



Foto 25 : Il tratto di fiume a monte di Sondrio in loc. Castelletto. In sponda destra (sinistra foto) corre il sentiero Valtellina immerso nel parco dell'Adda. In sponda sinistra la curva indotta dal conoide del T. Orsenigo.

In questo tratto vi sono diversi attraversamenti viari e/o ciclabili del fiume; in particolare:

- La passerella pedonale di Albosaggia di impatto idraulico quasi nullo;
- La passerella pedonale di Faedo di impatto idraulico quasi nullo;
- Il ponte della strada provinciale per Albosaggia di impatto idraulico trascurabile;
- Il ponte della strada provinciale per Faedo e Piateda di impatto idraulico trascurabile.



Foto 26 : Il tratto di fiume a monte del ponte di Albosaggia ed il ponte stesso.

Di particolare interesse si segnalano alcune immissioni di canali e/o fossi e torrenti che hanno interferenza con le piene.

Procedendo da valle si segnalano:

- Immissione in destra orografica del T. Mallero, come detto oggetto di massicci interventi dopo il 1987, con risagomatura dell'alveo, creazione di sacche di deposito, difese spondali importanti;
- Nell'ambito dello stesso intervento sono state consolidate le sponde del f. Adda sia in destra verso lo sperone della Sassella, sia in sinistra per contrastare l'effetto del T. Mallero come già accennato nel capitolo precedente;
- In sinistra, poco più a monte, vi è lo sbocco del T. Torchione che non ha interferenza negativa col fiume se non per il modesto trasporto solido che deposita in Adda;

- In destra, a valle del ponte di Albosaggia, il già citato sbocco del canale scolatore della piana di Sondrio, i cui effetti negativi sono già stati descritti;
- In sinistra, a monte del ponte di Albosaggia, lo sbocco del T. Orsenigo, che, col suo piccolo ma evidente conoide costringe l'Adda ad una modesta sinusoide;
- In corrispondenza, in destra, confluisce lo scarico della centrale Enel di Sondrio: il canale è pesantemente protetto da arginature e quindi, anche se pensile rispetto alla piana e oggetto di rigurgito in caso di livelli in Adda particolarmente alti, non provoca esondazioni;
- Infine, in sinistra, come già detto, lo sbocco del T. Venina, marcatamente rigurgitato in caso di piena dell'Adda.



Foto 27 : Il tratto di fiume a monte della passerella di Faedo (dalla quale è stata scattata la foto). Sulla sinistra (Dx orografica) si intravede il sentiero Valtellina e in destra lo sbocco del T. Venina e parte del Bosco dei Bordighi.

Si segnala infine, nella tratta di golena in sponda destra, a monte dello sbocco del canale Enel, la presenza di un'importante e impattante attività di lavorazione inerti e impianto di betonaggio e asfalti.

3.2.9. Tratto dal ponte di Faedo al ponte della Streppona.

E' una lunga tratta (circa 4 km) di alveo oggetto di consistenti interventi di arginatura eseguiti dopo l'alluvione del 1987, che termina poco a valle del ponte della Streppona. L'alveo risulta canalizzato con andamento leggermente serpeggiante e percorre la parte mediana della piana alluvionale dell'Adda. La sezione trasversale è compresa tra i due argini in terra che distano tra di loro da circa 100 a 200 m, tra i quali corre il fiume individuando un alveo attivo a media pendenza caratterizzato da un susseguirsi di tratte in deposito e tratte in escavazione e locale formazione di isolotti (il più consistente a valle del ponte di Amonini) e doppi alvei di piena ordinaria; il fondo è costituito nella massima parte da ghiaie e piccoli ciottoli. Le modeste golene laterali sono in parte invase da piante ed arbusti; le sponde dell'alveo attivo si presentano quasi sempre protette da scogliere sciolte con alcuni tratti naturali con localizzati modesti fenomeni di scalzamento.



Foto 28 : Il fiume a valle del ponte di Amonini. Si notano le due arginature, le modeste golene e l'isolotto.

A circa metà di questa tratta il fiume è attraversato dal ponte della strada comunale per Amonini, struttura di non recente costruzione non particolarmente influente dal punto di vista idraulico nonostante le due pile in alveo.



Foto 29 : Il ponte di Amonini visto da monte.

La parte arginata termina in destra di fronte allo scarico della centrale Edison di Boffetto; è percorsa fino al ponte di Amonini dal sentiero Valtellina.

In sinistra l'argine, percorso dal ponte di Amonini fino a quello della Streppona dalla stessa pista ciclabile, termina in corrispondenza del ponte suddetto.

Esternamente all'argine maestro di destra si estende la piana di Tresivio, Poggiridenti e Montagna, quasi completamente agricola e abbastanza depressa nella parte tra il fiume e la SS. 38; è percorsa da un canale di bonifica che sfocia in Adda poco a monte dell'immissione del T. Davaglione. La piana è inondabile da monte, in corrispondenza della fine dell'argine per piene straordinarie con allagamento di una estesa porzione di territorio agricolo. Lo sbocco invece del T. Davaglione a valle e T. Rogna nella parte mediana, risulta quasi pensile e ben arginato.

Nella parte più a monte, terminato l'argine, la sponda destra diviene più acclive poiché incomincia ad essere interessata dalla conoide del T. Rhon, che sfocia senza problemi nel fiume appena a valle del ponte della Streppona.

Qui il fiume cambia fisionomia, l'alveo aumenta la pendenza e il materiale di fondo si presenta molto più grossolano, passando dalle ghiaie ai ciottoli con qualche trovante di maggior dimensione; il fenomeno è ancor più vistoso a monte del ponte, come si descrive nel paragrafo seguente.



Foto 30 : Il fiume a valle del ponte della Streppona. Si nota sulla destra l'inizio della vastissima conoide del T. Rhon.

In sponda sinistra si estende la piana di Piateda compresa tra la conoide del T. Venina e le pendici delle Orobie fino al ponte della Streppona. E' sostanzialmente agricola verso fiume e parzialmente antropizzata dall'abitato di Piateda al Piano con le sue frazioni. E' a quota leggermente superiore a quella della sponda destra e protetta, anche se con franco minimo, dalle arginature. Nella parte terminale è percorsa da un canale di bonifica che sfocia in Adda a monte del ponte per Faedo. Il rigurgito delle piene dell'Adda invade una porzione abbastanza limitata.

Inoltre in questa tratta sfociano in Adda i canali delle centrali idroelettriche Edison di Venina e di Boffetto; i canali sono efficacemente protetti da arginature e quindi, anche se parzialmente pensili rispetto alla piana e oggetto di rigurgito in caso di livelli in Adda particolarmente alti, non provocano esondazioni.

Nella parte più a monte sfociano in Adda due tributari orobici, il T. Paiosa e il T. Serio, senza interferenza idraulica alcuna.

La tratta termina con il Ponte della Streppona, vecchio ponte in muratura, che comporta notevole rigurgito data la sezione insufficiente.



Foto 31 : Il ponte della Streppona visto da valle.

3.2.10. Tratto dal ponte della Streppona alla traversa del Baghetto.

E' una tratta che si caratterizza per il regime quasi torrentizio. Geomorfologicamente il fiume passa ai piedi del versante roccioso orobico ivi sospinto dalla possente conoide del t. Rhon, erodendone le pendici con scarpate che nella parte mediana raggiungono anche i 50 m di altezza. Come detto il fiume si è tagliato nei millenni il suo letto asportando i materiali più fini che compongono la conoide del Rhon e lasciando in sito i massi più grossolani, fino oltre il mc (la tratta è denominata "bocioni")



Foto 32 : Il fiume a monte del ponte della Streppona (che si intravede sullo sfondo). Inizia la tratta detta "dei bocioni".

L'alveo ha andamento leggermente serpeggiante imposto dalla morfologia del sito. Nella parte più alta la valle si allarga in destra dove la conoide del Rhon si allontana lasciando spazio alla piana di Chiuro, la pendenza si riduce, e in sinistra sfocia il T. Armisa, altra conoide piccola ma attiva, che impone al fiume due ristretti meandri. L'alveo è caratterizzata da depositi di pezzatura via via minore (fino a ghiaie con ciottoli). Si giunge così allo sbarramento del Baghetto, struttura di captazione delle acque per lo sfruttamento idroelettrico della centrale di Boffetto.

Nella parte più a valle, dove il fiume attraversa gli abitati di Boffetto in destra e Carolo in sinistra, la sezione trasversale è molto stretta e compresa tra due arginature in muratura e/o scogliera intasata.



Foto 33 : La parte arginata vista dal ponte di Boffetto – Carolo verso monte.

Diventa poi naturale, scorrendo in una sorta di forra tra il versante orobico e la sponda erosa della conoide del Rhon, con solamente alcune difese spondali realizzate dopo l'alluvione del 1987 dove localmente si manifestarono alcune imponenti erosioni.

Il regime è quasi torrentizio e la corrente è evidentemente veloce e turbolenta, creando tra l'altro un percorso di interesse internazionale per la pratica del rafting.

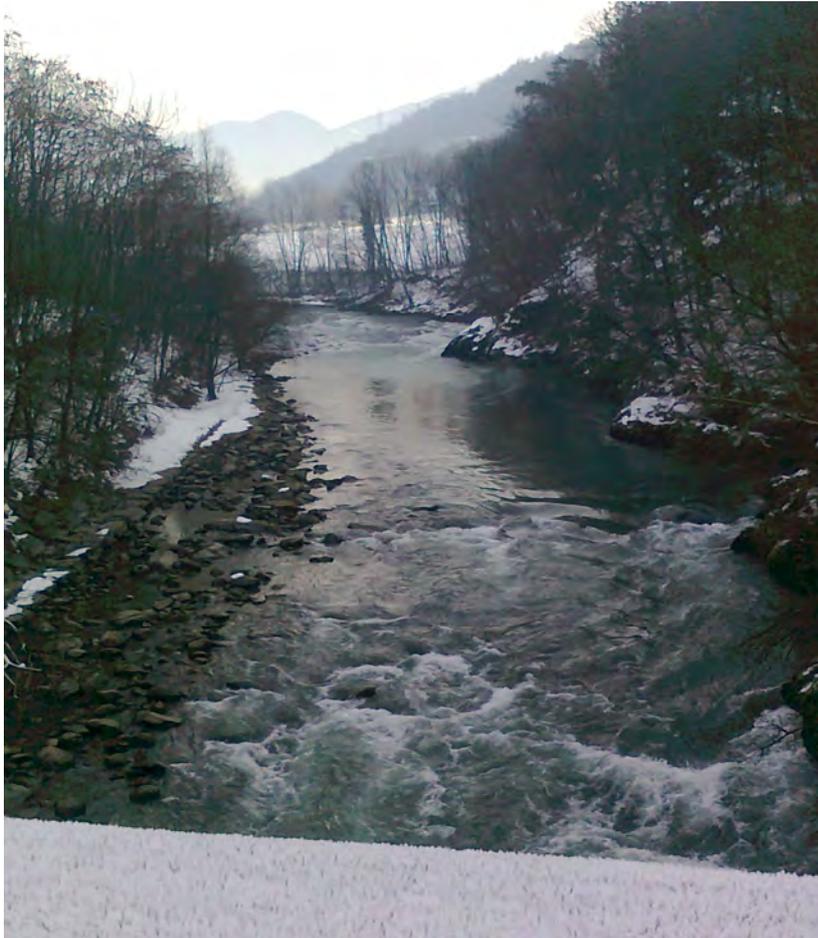


Foto 34 : Il fiume a monte del ponte di Sazzo. Siamo al termine della forra e si intravede in sinistra la conoide dell'Armisa.

La tratta terminale, a monte dell'immissione del T. Armisa, in buona parte è naturale fino a valle dello sbarramento del Baghetto dove è caratterizzata dalle opere di presa suddette con muri andatori a valle della traversa e le opere di derivazione in cemento armato in sinistra, fin dove il canale diventa interrato.

La parte naturale presenta un'ampia curva dovuta alla conoide del T. Armisa e al suo apporto solido; la corrente, sospinta da questo, ha profondamente eroso le pendici della preesistente conoide del T. Rhon nella sua parte terminale. La sponda destra risulta quindi molto acclive, mentre la sinistra degrada dolcemente verso i campi che occupano la conoide suddetta.

Terminati i serpeggiamenti suddetti si apre in destra la piana di Chiuro.

Poco più a monte è posizionato lo sbarramento del Baghetto che è ovviamente una struttura molto impattante dal punto di vista idraulico: come si vedrà nella modellazione in caso di pieno eccezionale, pur con tutte le paratoie aperte, la

struttura non è in grado di convogliare tutte le acque e tutta la piana circostante viene sommersa sia in destra che in sinistra fino alle pendici delle Orobie.



Foto 35 : Il fiume a valle dello sbarramento del Baghetto. In sinistra in primo piano le ultime opere di derivazione e poi si intravede l'inizio della conoide dell'Armisa; sulla sponda destra la parte iniziale della piana di Chiuro e sullo sfondo al centro la conoide del Rhon erosa dall'Adda.



Foto 36 : Lo sbarramento del Baghetto visto da valle.

Nel tratto in oggetto sono presenti due ponti: il primo a Boffetto, un vecchio ponte in muratura ad arco, che con la sua sezione ristretta, assieme alla ristrettezza dell'alveo, comporta importanti perturbazioni idrauliche con localizzata esondazione a monte in sponda destra verso l'abitato di Boffetto; il secondo (detto ponte di Sazzo) sulla strada comunale per la Valle di Arigna e le frazioni Orobiche: è una struttura simile alla precedente ma impostata nella forra a quote abbastanza elevate. La sua interferenza idraulica è quindi meno impattante.



Foto 37 : Lo stretto ponte di Boffetto visto da valle.

In questa tratta non riceve contributi idrici significativi se non il già citato T. Armisa che durante l'alluvione ha cambiato corso nella parte terminale ed è stato oggetto di un consistente intervento di regimazione e bonifica dell'intera conoide.

3.2.11. Tratto dalla traversa del Baghetto al ponte di Tresenda.

E' una tratta molto lunga (circa 8 km) abbastanza omogenea, con alveo quasi naturale, non particolarmente canalizzato e solo saltuariamente arginato.

Appena a monte dello sbarramento la morfologia dell'alveo è chiaramente influenzata dalle quote di invaso, utili per lo sfruttamento idroelettrico della centrale di Boffetto. Risalendo dallo sbarramento del Baghetto il fiume corre quasi sempre a contatto del versante orobico, sospinto verso il centro della piana alluvionale dell'Adda, (qui abbastanza larga) formando ampie curve in corrispondenza di alcune

conoidi sbocco di valli laterali. La prima in corrispondenza di S. Giacomo, del T. Magina e Margatta che forma un “ventaglio” dello sviluppo di più di 2 km, ed la seconda in corrispondenza di Tresenda, del T. Belviso anch’essa formante un “ventaglio” dello sviluppo di circa 2 km. In entrambi i casi il fiume è sospinto verso il versante retico in corrispondenza dei due speroni rocciosi di S. Giacomo e Tresenda. La sponda sinistra corrispondente non è mai arginata, e solo saltuariamente protetta da scogliere sciolte. Come detto è quasi totalmente a ridosso del versante orobico dal quale è separato solamente dalle conoidi suddette che formano piccoli reliquati di piana, totalmente agricole. La più estesa di queste è a valle della S.S. per Aprica, tra la conoide del T. Belviso e lo sbocco del T. Bondone; è sede di paleovalvei dell’Adda e aree depresse parzialmente abbandonate invase dalle piene non ordinarie. In questa zona sfocia il canale artificiale di scarico della centrale Edison di Belviso, soggetto a rigurgito in caso di livelli in Adda particolarmente alti. Trova altresì allocazione un’attività di lavorazione inerti e impianto di produzione asfalti.

Più a monte, prima del ponte della Falk, sfocia il T. Caronella, arginato e idraulicamente ininfluente.



Foto 38 : Il fiume a monte dl ponte del Baghetto in corrispondenza dello sbocco del T. Fontana. Si nota chiaramente l’andamento placido influenzato dall’invaso. Le quote di sponda sono molto basse e le aree limitrofe allagabili.

In sponda destra si ha dapprima un tratto senza arginature, fino a monte dello sbocco del T. Fontana, e la piana confinante è abbastanza depressa fino alla linea ferroviaria e alla SS. 38, tale da essere inondata per piene bicentinarie. Poi inizia

un'arginatura che prosegue ininterrotta fino al ponte di S. Giacomo, che protegge efficacemente la piana e gli abitati retrostanti. Tra l'alveo di piena ordinaria e l'argine si estende una modesta golena, abbastanza ricca di vegetazione, che scema in corrispondenza dell'abitato di S. Giacomo. In questa golena è presente una vecchia attività estrattiva, ora solo di deposito e lavorazione inerti.



Foto 39: tipica conformazione del fiume tra il Baghetto e S. Giacomo. E' evidente la sponda sinistra più alta e la destra che individua la golena.

Tra questa località e Tresenda la sponda destra non è arginata, e quasi sempre naturale. Tra il versante retico e il fiume si apre una piana, depressa dal punto di vista topografico e percorsa da alcuni canali di bonifica recentemente risezionati; è completamente agricola e svolge funzione di golena e naturale esondazione, e di modesta laminazione fino alla linea ferroviaria e alla SS. 38, teoricamente sommerse per una buona parte dalle piene non ordinarie. A monte della statale vi sono attività produttive eccezionalmente invase dalle acque di rigurgito dei canali di bonifica suddetti.

Solo nella parte terminale di tale porzione di territorio vi è una modesta arginatura in sponda destra che salvaguarda la parte più sud occidentale dell'abitato di Tresenda a valle della linea ferroviaria.

Per tutta la tratta l'alveo si presenta naturale con pendenze modeste e andamento leggermente sinuoso, con piccole zone di deposito soprattutto dovuto al trasporto solido dei torrenti orobici.



Foto 40 : Il fiume tra S. Giacomo e Tresenda in corrispondenza dello sbocco del T. Margatta, di cui si nota il deposito. Come si vede la sponda destra è bassa e confina col la vasta piana di Valgella; sullo sfondo il versante terrazzato retico.



Foto 41 : Il fiume tra S. Giacomo e Tresenda in corrispondenza dello sbocco del T. Bondone. Come si vede a monte si apre una piccola piana depressa e in buona parte ancora naturale.

Nelle tratte di attraversamento degli abitati di S. Giacomo e Tresenda l'alveo è canalizzato con la presenza della ferrovia a ridosso della sponda destra. La pezzatura del materiale d'alveo va dalle sabbie fini a monte dell'invaso, a grossolane nella tratta superiore, passante alle ghiaie e rari ciottoli.



Foto 42 : Il tratto canalizzato a monte del ponte di S. Giacomo. Sulla destra orografica (sinistra foto) si notano le opere del viadotto della ferrovia, la SS 38 e il versante retico di S. Giacomo. In secondo piano la passerella del sentiero Valtellina.

Nella tratta in esame vi sono alcuni ponti: in particolare:

- Il ponte della strada provinciale per Castello dell'acqua, a monte dello sbarramento del Baghetto, che per piene non ordinarie funziona in pressione con stramazzo sulla strada di accesso allo stesso;
- Il ponte di S. Giacomo della strada comunale per Carona e Bondone che produce un rigurgito verso monte di circa 1800 m per piena bicentenaria;
- La passerella ciclo pedonale di S. Giacomo di impatto idraulico quasi nullo;
- Il ponte della ex strada privata Falk di notevole impatto idraulico;
- Il ponte di Tresenda della strada statale per Aprica con funzionamento in pressione;
- La passerella ciclo pedonale di Tresenda, lambita dai livelli idrici rigurgitati dalle strutture di valle.

Queste ultime tre strutture sono ubicate in un tratto di fiume molto stretto, in corrispondenza dell'abitato di Tresenda e rappresentano una strozzatura significativa: sono state attentamente analizzate nella modellazione idraulica. Il ponte Falk, realizzato con tre pile in alveo, crea evidente ostacolo al deflusso delle piene; esso è seguito a breve distanza da quello della SS. 39 di Aprica, realizzato in campata unica molto stretta tra le due spalle (solamente 50 m) e caratterizzato da un intradosso poco elevato rispetto al fondo. Tale situazione comporta un notevole rigurgito a monte (che si smorza solamente dopo circa 2 km).



Foto 43 : Il tratto canalizzato tra il ponte Falk (da dove è scattata la foto) a quello di Tresenda. Sulla destra orografica (sinistra foto) si notano la ferrovia, con a tergo la SS 38 e l'abitato di Tresenda.

3.2.12. Tratto dal ponte di Tresenda al ponte di Stazzona.

Questa è la tratta più naturale di tutta l'Adda, dove gli interventi antropici sono modesti. I primi due chilometri a monte del ponte di Tresenda serpeggiano nella piana con grande possibilità di esondazione soprattutto in sinistra, dove si notano ancora gli effetti di passate escavazioni in alveo con ancora qualche accumulo presente in golena. L'alveo è caratterizzato da un susseguirsi di tratte in deposito e tratte in escavazione e locale formazione di isolotti e doppi alvei di piena ordinaria; l'evoluzione dell'alveo in questa tratta è piuttosto veloce, come dimostrato dal

confronto con altri studi eseguiti intorno al 2007 (es. studio ing. Baldini per il comune di Teglio).

Il materiale di fondo è grossolano, generalmente ghiaioso con pezzatura più grossa (fino a ciottoli) in corrispondenza dell'immissione dei tributari orobici (quindi in sinistra orografica) prima del T. Belviso e soprattutto poi del T. Rivallone, noto per la consistente attività di trasporto solido.

Le sponde sono generalmente basse e quasi sempre naturali o al più protette da scogliere sciolte (a volte rip-rap). A tergo della destra vi sono dapprima gli impianti sportivi di Tresenda e più a monte una zona golenale estesa fino circa alla ferrovia, occupata da boschina ripariale e percorsa dal fosso di bonifica detto Poschiavino. Verso il Comune di Bianzone vi sono localizzate due attività di lavorazione inerti. Più a monte, fino all'immissione del Canale Rossi, la piana si fa più ampia e leggermente depressa con vocazione agricola. La parte terminale, fino allo sbocco del canale, è protetta da una vecchia arginatura.



Foto 44 : Il tratto a monte di Tresenda: si apprezza la naturalità del contesto con presenza di vegetazione spontanea.

A tergo della sponda sinistra, tra la conoide del T. Belviso e le pendici orobiche, si sviluppa una stretta e lunga piana agricola di indubbio interesse paesaggistico, percorsa dal sentiero Valtellina, che si chiude sullo sperone roccioso di Svandana (Stazzona) poco a valle dell'immissione del T. Rivallone, recentemente regimato.



Foto 45 : Il tratto in corrispondenza dello sbocco del Canale Rossi verso monte, prima dell'inizio del tratto canalizzato. L'alveo è caratterizzato dal materiale di deposito del T. Rivallone. Sullo sfondo lo sperone roccioso di Svandana.

A monte del Canale Rossi in destra, e del T. Rivallone in sinistra, l'alveo è canalizzato con larghezza variabile da 100 e 40 m in corrispondenza del ponte di Stazzona.



Foto 46 : L'inizio del tratto canalizzato a valle del ponte di Stazzona.

In destra vi è una piana agricola coltivata a meleto, mentre in sinistra la breve piana lascia posto alla conoide Del T. Rivallone, dove sorge l'abitato di Stazzona.

Nella tratta vi sono due attraversamenti: uno ciclopedonale a monte di Tresenda (sentiero Valtellina) e il ponte di Stazzona.

Quello ciclopedonale, struttura lignea ad arco senza interferenza col l'alveo attivo, come prima accennato è parzialmente coinvolta dal rigurgito dei ponti di Tresenda.



Foto 47 : La passerella di Tresenda vista da monte.

Quello di Stazzona crea una strozzatura che provoco un sensibile rigurgito a monte con livelli di pelo libero comunque contenuti nelle arginature.



Foto 48 : Il ponte di Stazzona visto da monte.

3.2.13. Tratto dal ponte di Stazzona al ponte SS 38 di Tirano.

Come detto tutto questo tratto è canalizzato, tra due argini in pietrame e calcestruzzo, di notevole altezza. La sezione è larga circa 40-50 m fino al T. Poschiavino. Poi, nel tratto cittadino di Tirano la larghezza è di solamente 25 m.



Foto 49 : Il tratto a monte del ponte di Stazzona. L'alveo è canalizzato e presenta alcuni depositi.

L'argine destro è percorso da strada alzaia e nel tratto cittadino dalla via lungo Adda destra. Il sinistro è percorso dalla strada provinciale fino alla SS 38; solo in corrispondenza della loc. S. Bernardo, dove, per circa 1 Km, la strada se ne discosta individuando una modesta golena coltivata a meleto.

A tergo degli argini vi sono zone agricole su entrambe i versanti fino alla zona urbanizzata, dove le costruzioni, produttive e poi residenziali, si affacciano direttamente sulla strada.

Nel primo tratto, dal ponte fino all'immissione del T. Poschiavino, il fondo è in materiale di media pezzatura, soprattutto ghiaie e ciottoli in massima parte provenienti dal T. stesso, con qualche deposito appena a monte del ponte di Stazzona.



Foto 50 : Il tratto a valle della confluenza del T. Poschiavino.

Nel secondo, a monte dell'immissione del torrente, l'alveo è stato recentemente oggetto di pesanti interventi di consolidamento del piede degli argini e di stabilizzazione del fondo, armato anche con massi trovanti, provenienti dall'erosione della conoide della Valchiosa più a monte.



Foto 51 : Il tratto a valle del ponte della SS 38 in Tirano. E' evidente l'intervento di consolidamento degli argini e del fondo.

Idraulicamente la tratta è condizionata dalla presenza dei ponti. Di quello di Stazzona si è già detto. Di quelli cittadini, quattro in tutto, gli ultimi due non danno problemi per il transito delle piene, mentre quello di via del Commercio a causa dell'intradosso basso, lambisce pericolosamente la corrente idrica in transito per Tr 200 e addirittura funziona in pressione per Tr 500 anni.



Foto 50 : Il tratto cittadino a monte del ponte della SS 38 e il ponte in ferro del centro storico.



Foto 51 : Il ponte di via del commercio, con il suo intradosso evidentemente basso.

3.3. LA CARATTERIZZAZIONE IDRAULICA – LE SCABREZZE

3.3.1. Generalità.

Dalle considerazioni sopra descritte e da quanto visto in loco durante i sopralluoghi è stato possibile stimare i parametri di scabrezza caratteristici, in base anche a valori di letteratura noti. Come si vedrà poi tali parametri sono stati “tarati” in base alla simulazione idraulica di un’onda di piena significativa, misurata nel novembre del 2002 nella tratta compresa tra Ardenno e Fuentes, e conducendo un’analisi di sensitività applicata a tutto il tratto implementato nel modello idraulico.

Nel seguito si descrivono in maniera sintetica le valutazioni da questo punto di vista, dividendo il fiume in tratte ritenute più o meno omogenee, procedendo come al solito da valle verso monte.

3.3.2. La metodologia

L’alveo oggetto di studio è schematizzabile trasversalmente dal punto di vista della scabrezza in tratte omogenee: su ogni sezione viene riportato il coefficiente di Manning adottato in corrispondenza della tratta a cui viene applicato.

L’utilizzo del programma di calcolo HEC-RAS per il calcolo dei peli liberi in moto permanente comporta la conoscenza o la stima della scabrezza dell’alveo stimata secondo Strikler mediante la relazione

$$C = K \cdot R^{1/6} \quad (2)$$

o di Manning

$$C = \frac{1}{n} K \cdot R^{1/6} \quad (3)$$

dove per n si può assumere la procedura consigliata dal V. T. CHOW che porta alla formula della resistenza dell’alveo

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5 \quad (4)$$

Per la valutazione dei valori di resistenza dell’alveo per l’applicazione della (4), si fa riferimento alla seguente tabella sperimentale, la cui validità è universalmente riconosciuta.

COEFFICIENTI DI RESISTENZA SECONDO V.T. CHOW

CONDIZIONI DEL CORSO D'ACQUA		VALORI DEL COEFFICIENTE	
Materiale d'alveo	massi, ciotoli e sabbia	n_0	0,020 0,028
Forma della sezione trasversale	regolare	n_1	0,000
	abbastanza regolare		0,005
	moderatamente irregolare		0,010
	molto irregolare		0,020
Grado di uniformità longitudinale	variazioni graduali	n_2	0,000
	saltuarie strettoie e varici		0,005
	frequenti cambi di sezione		0,010 0,015
Effetto delle ostruzioni	trascurabile	n_3	0,000
	poco importante		0,010 0,015
	apprezzabile		0,020 0,030
	forte		0,040 0,060
Vegetazione	scarsa	n_4	0,005 0,010
	media		0,010 0,025
	importante		0,025 0,050
	molto importante		0,050 0,100
Grado di sinuosità	scarso	m_5	1
	apprezzabile		1,15
	notevole		1,3

Nel seguito vengono giustificate le scelte per la valutazione delle scabrezze utilizzate per il calcolo in moto permanente ad alveo naturale.

Un particolare procedimento è stato adottato per le sezioni con golene, per le quali si è valutato separatamente il valore delle scabrezze che caratterizzano le parti di alveo di magra, (filone centrale con maggiori velocità) e delle golene (minori velocità). Analogamente verrà valutata una scabrezza diversa per le sponde anche in assenza di espansioni golenali.

I risultati dell'elaborazione, con la stima di tutti i parametri specifici, sono di seguito riportati sotto forma di tabella, procedendo da valle verso monte.

SCABREZZA TRA SCARICO CENTRALE MONASTERO E SBOCCO A LAGO

CONDIZIONI DEL CORSO D'ACQUA		VALORI DEL COEFFICIENTE		VALORE PROPOSTO GOLENA DX	VALORE PROPOSTO ALVEO	VALORE PROPOSTO GOLENA SX
Materiale d'alveo	massi, ciottoli e sabbia	n ₀	0,020 0,085	0,020	0,020	0,020
Forma sez trasversale	regolare	n ₁	0	0,000		
	abbastanza regolare		0,005		0,000	0,005
	mod. irregolare		0,01			
	molto irregolare		0,02			
Grado uniformità long.	variazioni graduali	n ₂	0		0,000	
	saltuarie strettoie/varici		0,005	0,005		0,005
	frequenti cambi sez.		0,010 0,015			
Effetto delle ostruzioni	trascurabile	n ₃	0	0,000	0,000	
	poco importante		0,010 0,015			0,010
	apprezzabile		0,020 0,030			
	forte		0,040 0,060			
Vegetazione	scarsa	n ₄	0,002 0,010	0,004	0,004	0,004
	media		0,010 0,025			
	importante		0,025 0,050			
	molto importante		0,050 0,100			
TOTALE CHOW				0,029	0,024	0,044
Grado di sinuosità	scarso	m ₅	1	1,000	1,000	
	apprezzabile		1,15			1,150
	notevole		1,3			
COEFF. RESISTENZA				0,029	0,024	0,051
COEFF. STRICKLER				34,48	41,67	19,76

SCABREZZA TRA SCARICO CENTRALE MONASTERO E P.TE MANTELLO

CONDIZIONI DEL CORSO D'ACQUA		VALORI DEL COEFFICIENTE		VALORE PROPOSTO GOLENA DX	VALORE PROPOSTO ALVEO	VALORE PROPOSTO GOLENA SX
Materiale d'alveo	massi, ciottoli e sabbia	n ₀	0,020 0,085	0,020	0,020	0,020
Forma sez trasversale	regolare	n ₁	0			0,000
	abbastanza regolare		0,005	0,005	0,000	
	mod. irregolare		0,01			
	molto irregolare		0,02			
Grado uniformità long.	variazioni graduali	n ₂	0		0,000	
	saltuarie strettoie/varici		0,005	0,005		0,005
	frequenti cambi sez.		0,010 0,015			
Effetto delle ostruzioni	trascurabile	n ₃	0	0,000	0,000	
	poco importante		0,010 0,015			0,010
	apprezzabile		0,020 0,030			
	forte		0,040 0,060			
Vegetazione	scarsa	n ₄	0,002 0,010	0,002	0,004	0,004
	media		0,010 0,025			
	importante		0,025 0,050			
	molto importante		0,050 0,100			
TOTALE CHOW				0,032	0,024	0,039
Grado di sinuosità	scarso	m ₅	1	1,000		1,000
	apprezzabile		1,15			1,150
	notevole		1,3			
COEFF. RESISTENZA				0,032	0,028	0,039
COEFF. STRICKLER				31,25	36,23	25,64

SCABREZZA TRA P.TE MANTELLO E SBOCCO BITTO

CONDIZIONI DEL CORSO D'ACQUA		VALORI DEL COEFFICIENTE		VALORE PROPOSTO GOLENA DX	VALORE PROPOSTO ALVEO	VALORE PROPOSTO GOLENA SX
Materiale d'alveo	massi, ciotoli e sabbia	n ₀	0,020 0,085	0,020	0,025	0,020
Forma sez trasversale	regolare	n ₁	0	0,000		0,000
	abbastanza regolare		0,005		0,000	
	mod. irregolare		0,01			
	molto irregolare		0,02			
Grado uniformità long.	variazioni graduali	n ₂	0		0,000	
	saltuarie strettoie/varici		0,005	0,005		0,005
	frequenti cambi sez.		0,010 0,015			
Effetto delle ostruzioni	trascurabile	n ₃	0	0,000	0,000	
	poco importante		0,010 0,015			0,010
	apprezzabile		0,020 0,030			
	forte		0,040 0,060			
Vegetazione	scarsa	n ₄	0,002 0,010	0,008	0,004	0,004
	media		0,010 0,025			
	importante		0,025 0,050			
	molto importante		0,050 0,100			
TOTALE CHOW				0,033	0,029	0,039
Grado di sinuosità	scarso	m ₅	1	1,000		1,000
	apprezzabile		1,15		1,100	
	notevole		1,3			
COEFF. RESISTENZA				0,033	0,032	0,039
COEFF. STRICKLER				30,30	31,35	25,64

SCABREZZA TRA SBOCCO BITTO E P.TE GANDA

CONDIZIONI DEL CORSO D'ACQUA		VALORI DEL COEFFICIENTE		VALORE PROPOSTO GOLENA DX	VALORE PROPOSTO ALVEO	VALORE PROPOSTO GOLENA SX
Materiale d'alveo	massi, ciotoli e sabbia	n ₀	0,020 0,085	0,020	0,020	0,020
Forma sez trasversale	regolare	n ₁	0	0,000		0,000
	abbastanza regolare		0,005		0,000	
	mod. irregolare		0,01			
	molto irregolare		0,02			
Grado uniformità long.	variazioni graduali	n ₂	0		0,000	
	saltuarie strettoie/varici		0,005	0,005		0,005
	frequenti cambi sez.		0,010 0,015			
Effetto delle ostruzioni	trascurabile	n ₃	0	0,000	0,000	
	poco importante		0,010 0,015			0,015
	apprezzabile		0,020 0,030			
	forte		0,040 0,060			
Vegetazione	scarsa	n ₄	0,002 0,010	0,008	0,002	0,004
	media		0,010 0,025			
	importante		0,025 0,050			
	molto importante		0,050 0,100			
TOTALE CHOW				0,033	0,022	0,044
Grado di sinuosità	scarso	m ₅	1	1,000	1,000	1,000
	apprezzabile		1,15			
	notevole		1,3			
COEFF. RESISTENZA				0,033	0,022	0,044
COEFF. STRICKLER				30,30	45,45	22,73

SCABREZZA TRA P.TE GANDA E P.TE PANIGA

CONDIZIONI DEL CORSO D'ACQUA		VALORI DEL COEFFICIENTE		VALORE PROPOSTO GOLENA DX	VALORE PROPOSTO ALVEO	VALORE PROPOSTO GOLENA SX
Materiale d'alveo	massi, ciotoli e sabbia	n ₀	0,020 0,085	0,020	0,020	0,020
Forma sez trasversale	regolare	n ₁	0	0,000		
	abbastanza regolare		0,005		0,005	0,005
	mod. irregolare		0,01			
	molto irregolare		0,02			
Grado uniformità long.	variazioni gradualali	n ₂	0		0,000	0,000
	saltuarie strettoie/varici		0,005	0,005		
	frequenti cambi sez.		0,010 0,015			
Effetto delle ostruzioni	trascurabile	n ₃	0	0,000	0,000	
	poco importante		0,010 0,015			0,010
	apprezzabile		0,020 0,030			
	forte		0,040 0,060			
Vegetazione	scarsa	n ₄	0,002 0,010	0,008	0,002	0,004
	media		0,010 0,025			
	importante		0,025 0,050			
	molto importante		0,050 0,100			
TOTALE CHOW				0,033	0,027	0,039
Grado di sinuosità	scarso	m ₅	1	1,000		1,000
	apprezzabile		1,15		1,075	
	notevole		1,3			
COEFF. RESISTENZA				0,033	0,029	0,039
COEFF. STRICKLER				30,30	34,45	25,64

SCABREZZA TRA P.TE PANIGA E INVASO ARDENNO

CONDIZIONI DEL CORSO D'ACQUA		VALORI DEL COEFFICIENTE		VALORE PROPOSTO GOLENA DX	VALORE PROPOSTO ALVEO	VALORE PROPOSTO GOLENA SX
Materiale d'alveo	massi, ciotoli e sabbia	n ₀	0,020 0,085	0,020	0,020	0,020
Forma sez trasversale	regolare	n ₁	0	0,000		
	abbastanza regolare		0,005		0,005	0,005
	mod. irregolare		0,01			
	molto irregolare		0,02			
Grado uniformità long.	variazioni gradualali	n ₂	0		0,000	0,000
	saltuarie strettoie/varici		0,005	0,005		
	frequenti cambi sez.		0,010 0,015			
Effetto delle ostruzioni	trascurabile	n ₃	0	0,000	0,000	
	poco importante		0,010 0,015			0,010
	apprezzabile		0,020 0,030			
	forte		0,040 0,060			
Vegetazione	scarsa	n ₄	0,002 0,010	0,008	0,002	
	media		0,010 0,025			0,010
	importante		0,025 0,050			
	molto importante		0,050 0,100			
TOTALE CHOW				0,033	0,027	0,045
Grado di sinuosità	scarso	m ₅	1	1,000		
	apprezzabile		1,15		1,075	1,075
	notevole		1,3			
COEFF. RESISTENZA				0,033	0,029	0,048
COEFF. STRICKLER				30,30	34,45	20,67

SCABREZZA TRA ARDENNO E PUNTA DI ROGOLO

CONDIZIONI DEL CORSO D'ACQUA		VALORI DEL COEFFICIENTE		VALORE PROPOSTO GOLENA DX	VALORE PROPOSTO ALVEO	VALORE PROPOSTO GOLENA SX
Materiale d'alveo	massi, ciotoli e sabbia	n ₀	0,020 0,085	0,020	0,020	0,020
Forma sez trasversale	regolare	n ₁	0	0,000		
	abbastanza regolare		0,005		0,000	0,005
	mod. irregolare		0,01			
	molto irregolare		0,02			
Grado uniformità long.	variazioni graduali	n ₂	0		0,000	
	saltuarie strettoie/varici		0,005	0,005		0,005
	frequenti cambi sez.		0,010 0,015			
Effetto delle ostruzioni	trascurabile	n ₃	0		0,000	
	poco importante		0,010 0,015	0,010		0,015
	apprezzabile		0,020 0,030			
	forte		0,040 0,060			
Vegetazione	scarsa	n ₄	0,002 0,010	0,002	0,002	0,010
	media		0,010 0,025			
	importante		0,025 0,050			
	molto importante		0,050 0,100			
TOTALE CHOW				0,037	0,022	0,055
Grado di sinuosità	scarso	m ₅	1	1,000	1,000	
	apprezzabile		1,15			1,075
	notevole		1,3			
COEFF. RESISTENZA				0,037	0,022	0,059
COEFF. STRICKLER				27,03	45,45	16,91

SCABREZZA TRA PUNTA DI ROGOLO E T. RAVIONE

CONDIZIONI DEL CORSO D'ACQUA		VALORI DEL COEFFICIENTE		VALORE PROPOSTO GOLENA DX	VALORE PROPOSTO ALVEO	VALORE PROPOSTO GOLENA SX
Materiale d'alveo	massi, ciotoli e sabbia	n ₀	0,020 0,085	0,020	0,020	0,020
Forma sez trasversale	regolare	n ₁	0	0,000		
	abbastanza regolare		0,005		0,005	0,005
	mod. irregolare		0,01			
	molto irregolare		0,02			
Grado uniformità long.	variazioni graduali	n ₂	0		0,000	
	saltuarie strettoie/varici		0,005	0,005		0,005
	frequenti cambi sez.		0,010 0,015			
Effetto delle ostruzioni	trascurabile	n ₃	0		0,000	
	poco importante		0,010 0,015	0,010		0,010
	apprezzabile		0,020 0,030			
	forte		0,040 0,060			
Vegetazione	scarsa	n ₄	0,002 0,010	0,002	0,002	0,005
	media		0,010 0,025			
	importante		0,025 0,050			
	molto importante		0,050 0,100			
TOTALE CHOW				0,037	0,027	0,045
Grado di sinuosità	scarso	m ₅	1			
	apprezzabile		1,15	1,150	1,000	1,075
	notevole		1,3			
COEFF. RESISTENZA				0,043	0,027	0,048
COEFF. STRICKLER				23,50	37,04	20,67

SCABREZZA TRA T. RAVIONE E PONTE CAIOLO

CONDIZIONI DEL CORSO D'ACQUA		VALORI DEL COEFFICIENTE		VALORE PROPOSTO GOLENA DX	VALORE PROPOSTO ALVEO	VALORE PROPOSTO GOLENA SX
Materiale d'alveo	massi, ciotoli e sabbia	n ₀	0,020 0,085	0,020	0,020	0,020
Forma sez trasversale	regolare	n ₁	0			
	abbastanza regolare		0,005	0,005	0,005	0,005
	mod. irregolare		0,01			
	molto irregolare		0,02			
Grado uniformità long.	variazioni gradualì	n ₂	0		0,000	
	saltuarie strettoie/varici		0,005	0,005		0,005
	frequenti cambi sez.		0,010 0,015			
Effetto delle ostruzioni	trascurabile	n ₃	0		0,000	
	poco importante		0,010 0,015	0,010		0,010
	apprezzabile		0,020 0,030			
	forte		0,040 0,060			
Vegetazione	scarsa	n ₄	0,002 0,010	0,002	0,002	0,008
	media		0,010 0,025			
	importante		0,025 0,050			
	molto importante		0,050 0,100			
TOTALE CHOW				0,042	0,027	0,048
Grado di sinuosità	scarso	m ₅	1		1,000	
	apprezzabile		1,15	1,150		1,075
	notevole		1,3			
COEFF. RESISTENZA				0,048	0,027	0,052
COEFF. STRICKLER				20,70	37,04	19,38

SCABREZZA TRA PONTE CAIOLO E IMMISSIONE MALLERO

CONDIZIONI DEL CORSO D'ACQUA		VALORI DEL COEFFICIENTE		VALORE PROPOSTO GOLENA DX	VALORE PROPOSTO ALVEO	VALORE PROPOSTO GOLENA SX
Materiale d'alveo	massi, ciotoli e sabbia	n ₀	0,020 0,085	0,020	0,025	0,020
Forma sez trasversale	regolare	n ₁	0			
	abbastanza regolare		0,005	0,005	0,005	0,005
	mod. irregolare		0,01			
	molto irregolare		0,02			
Grado uniformità long.	variazioni gradualì	n ₂	0			
	saltuarie strettoie/varici		0,005	0,005	0,005	
	frequenti cambi sez.		0,010 0,015			0,010
Effetto delle ostruzioni	trascurabile	n ₃	0		0,000	
	poco importante		0,010 0,015	0,015		0,010
	apprezzabile		0,020 0,030			
	forte		0,040 0,060			
Vegetazione	scarsa	n ₄	0,002 0,010	0,004	0,002	
	media		0,010 0,025			0,02
	importante		0,025 0,050			
	molto importante		0,050 0,100			
TOTALE CHOW				0,049	0,037	0,065
Grado di sinuosità	scarso	m ₅	1			
	apprezzabile		1,15	1,150	1,100	1,075
	notevole		1,3			
COEFF. RESISTENZA				0,056	0,041	0,070
COEFF. STRICKLER				17,75	24,57	14,31

SCABREZZA TRA IMMISSIONE MALLERO E PONTE ALBOSAGGIA

CONDIZIONI DEL CORSO D'ACQUA		VALORI DEL COEFFICIENTE		VALORE PROPOSTO GOLENA DX	VALORE PROPOSTO ALVEO	VALORE PROPOSTO GOLENA SX
Materiale d'alveo	massi, ciotoli e sabbia	n ₀	0,020 0,085	0,020	0,020	0,020
Forma sez trasversale	regolare	n ₁	0			
	abbastanza regolare		0,005	0,005	0,003	0,005
	mod. irregolare		0,01			
	molto irregolare		0,02			
Grado uniformità long.	variazioni graduali	n ₂	0		0,000	
	saltuarie strettoie/varici		0,005	0,008		
	frequenti cambi sez.		0,010 0,015			0,010
Effetto delle ostruzioni	trascurabile	n ₃	0		0,000	
	poco importante		0,010 0,015	0,015		0,010
	apprezzabile		0,020 0,030			
	forte		0,040 0,060			
Vegetazione	scarsa	n ₄	0,002 0,010		0,002	
	media		0,010 0,025	0,010		0,020
	importante		0,025 0,050			
	molto importante		0,050 0,100			
TOTALE CHOW				0,058	0,025	0,065
Grado di sinuosità	scarso	m ₅	1		1,000	
	apprezzabile		1,15	1,150		1,075
	notevole		1,3			
COEFF. RESISTENZA				0,067	0,025	0,070
COEFF. STRICKLER				14,99	40,00	14,31

SCABREZZA TRA PONTE ALBOSAGGIA E PONTE FAEDO

CONDIZIONI DEL CORSO D'ACQUA		VALORI DEL COEFFICIENTE		VALORE PROPOSTO GOLENA DX	VALORE PROPOSTO ALVEO	VALORE PROPOSTO GOLENA SX
Materiale d'alveo	massi, ciotoli e sabbia	n ₀	0,020 0,085	0,020	0,020	0,020
Forma sez trasversale	regolare	n ₁	0			
	abbastanza regolare		0,005	0,005	0,005	0,005
	mod. irregolare		0,01			
	molto irregolare		0,02			
Grado uniformità long.	variazioni graduali	n ₂	0			
	saltuarie strettoie/varici		0,005	0,008		
	frequenti cambi sez.		0,010 0,015			0,010
Effetto delle ostruzioni	trascurabile	n ₃	0		0,000	
	poco importante		0,010 0,015	0,015		0,010
	apprezzabile		0,020 0,030			
	forte		0,040 0,060			
Vegetazione	scarsa	n ₄	0,002 0,010		0,002	
	media		0,010 0,025	0,010		0,02
	importante		0,025 0,050			
	molto importante		0,050 0,100			
TOTALE CHOW				0,058	0,027	0,065
Grado di sinuosità	scarso	m ₅	1		1,000	
	apprezzabile		1,15	1,150		1,075
	notevole		1,3			
COEFF. RESISTENZA				0,067	0,027	0,070
COEFF. STRICKLER				14,99	37,04	14,31

SCABREZZA TRA PONTE FAEDO E SEZ. 283 BIS

CONDIZIONI DEL CORSO D'ACQUA		VALORI DEL COEFFICIENTE		VALORE PROPOSTO GOLENA DX	VALORE PROPOSTO ALVEO	VALORE PROPOSTO GOLENA SX
Materiale d'alveo	massi, ciotoli e sabbia	n ₀	0,020 0,085	0,020	0,020	0,020
Forma sez trasversale	regolare	n ₁	0			
	abbastanza regolare		0,005	0,005	0,003	0,005
	mod. irregolare		0,01			
	molto irregolare		0,02			
Grado uniformità long.	variazioni graduali	n ₂	0			
	saltuarie strettoie/varici		0,005	0,005		0,005
	frequenti cambi sez.		0,010 0,015			
Effetto delle ostruzioni	trascurabile	n ₃	0		0,000	
	poco importante		0,010 0,015	0,010		0,010
	apprezzabile		0,020 0,030			
	forte		0,040 0,060			
Vegetazione	scarsa	n ₄	0,002 0,010	0,002	0,002	0,005
	media		0,010 0,025			
	importante		0,025 0,050			
	molto importante		0,050 0,100			
TOTALE CHOW				0,042	0,025	0,045
Grado di sinuosità	scarso	m ₅	1		1,000	
	apprezzabile		1,15	1,075		1,075
	notevole		1,3			
COEFF. RESISTENZA				0,045	0,025	0,048
COEFF. STRICKLER				22,15	40,00	20,67

SCABREZZA TRA SEZ. 283 BIS E PONTE STREPPONA

CONDIZIONI DEL CORSO D'ACQUA		VALORI DEL COEFFICIENTE		VALORE PROPOSTO GOLENA DX	VALORE PROPOSTO ALVEO	VALORE PROPOSTO GOLENA SX
Materiale d'alveo	massi, ciotoli e sabbia	n ₀	0,020 0,085	0,020	0,022	0,020
Forma sez trasversale	regolare	n ₁	0			
	abbastanza regolare		0,005	0,005	0,003	0,005
	mod. irregolare		0,01			
	molto irregolare		0,02			
Grado uniformità long.	variazioni graduali	n ₂	0			
	saltuarie strettoie/varici		0,005	0,005		0,005
	frequenti cambi sez.		0,010 0,015			
Effetto delle ostruzioni	trascurabile	n ₃	0		0,000	
	poco importante		0,010 0,015	0,010		0,015
	apprezzabile		0,020 0,030			
	forte		0,040 0,060			
Vegetazione	scarsa	n ₄	0,002 0,010	0,006	0,002	0,005
	media		0,010 0,025			
	importante		0,025 0,050			
	molto importante		0,050 0,100			
TOTALE CHOW				0,046	0,027	0,050
Grado di sinuosità	scarso	m ₅	1		1,000	
	apprezzabile		1,15	1,075		1,075
	notevole		1,3			
COEFF. RESISTENZA				0,049	0,027	0,054
COEFF. STRICKLER				20,22	37,04	18,60

SCABREZZA TRA PONTE STREPPONA E PONTE BOFFETTO

CONDIZIONI DEL CORSO D'ACQUA		VALORI DEL COEFFICIENTE		VALORE PROPOSTO GOLENA DX	VALORE PROPOSTO ALVEO	VALORE PROPOSTO GOLENA SX
Materiale d'alveo	massi, ciotoli e sabbia	n ₀	0,020 0,085	0,020	0,025	0,020
Forma sez trasversale	regolare	n ₁	0			
	abbastanza regolare		0,005	0,005	0,005	0,005
	mod. irregolare		0,01			
	molto irregolare		0,02			
Grado uniformità long.	variazioni graduali	n ₂	0			
	saltuarie strettoie/varici		0,005	0,005	0,005	0,005
	frequenti cambi sez.		0,010 0,015			
Effetto delle ostruzioni	trascurabile	n ₃	0			
	poco importante		0,010 0,015	0,010	0,010	0,015
	apprezzabile		0,020 0,030			
	forte		0,040 0,060			
Vegetazione	scarsa	n ₄	0,002 0,010	0,006	0,005	0,005
	media		0,010 0,025			
	importante		0,025 0,050			
	molto importante		0,050 0,100			
TOTALE CHOW				0,046	0,050	0,050
Grado di sinuosità	scarso	m ₅	1		1,000	
	apprezzabile		1,15	1,075		1,075
	notevole		1,3			
COEFF. RESISTENZA				0,049	0,050	0,054
COEFF. STRICKLER				20,22	20,00	18,60

SCABREZZA TRA PONTE BOFFETTO E PONTE SAZZO

CONDIZIONI DEL CORSO D'ACQUA		VALORI DEL COEFFICIENTE		VALORE PROPOSTO GOLENA DX	VALORE PROPOSTO ALVEO	VALORE PROPOSTO GOLENA SX
Materiale d'alveo	massi, ciotoli e sabbia	n ₀	0,020 0,085	0,020	0,040	0,025
Forma sez trasversale	regolare	n ₁	0			
	abbastanza regolare		0,005	0,005	0,005	0,005
	mod. irregolare		0,01			
	molto irregolare		0,02			
Grado uniformità long.	variazioni graduali	n ₂	0			
	saltuarie strettoie/varici		0,005	0,005	0,005	0,005
	frequenti cambi sez.		0,010 0,015			
Effetto delle ostruzioni	trascurabile	n ₃	0			
	poco importante		0,010 0,015	0,015	0,015	0,015
	apprezzabile		0,020 0,030			
	forte		0,040 0,060			
Vegetazione	scarsa	n ₄	0,002 0,010	0,005	0,000	0,010
	media		0,010 0,025			
	importante		0,025 0,050			
	molto importante		0,050 0,100			
TOTALE CHOW				0,050	0,065	0,060
Grado di sinuosità	scarso	m ₅	1		1,000	
	apprezzabile		1,15	1,075		1,075
	notevole		1,3			
COEFF. RESISTENZA				0,054	0,065	0,065
COEFF. STRICKLER				18,60	15,38	15,50

SCABREZZA TRA PONTE SAZZO E PONTE BAGHETTO

CONDIZIONI DEL CORSO D'ACQUA		VALORI DEL COEFFICIENTE		VALORE PROPOSTO GOLENA DX	VALORE PROPOSTO ALVEO	VALORE PROPOSTO GOLENA SX
Materiale d'alveo	massi, ciotoli e sabbia	n ₀	0,020 0,085	0,020	0,030	0,030
Forma sez trasversale	regolare	n ₁	0			0,002
	abbastanza regolare		0,005	0,005	0,003	
	mod. irregolare		0,01			
	molto irregolare		0,02			
Grado uniformità long.	variazioni graduali	n ₂	0			0,000
	saltuarie strettoie/varici		0,005	0,008	0,005	
	frequenti cambi sez.		0,010 0,015			
Effetto delle ostruzioni	trascurabile	n ₃	0			
	poco importante		0,010 0,015	0,010	0,010	0,015
	apprezzabile		0,020 0,030			
	forte		0,040 0,060			
Vegetazione	scarsa	n ₄	0,002 0,010	0,010	0,002	0,005
	media		0,010 0,025			
	importante		0,025 0,050			
	molto importante		0,050 0,100			
TOTALE CHOW				0,053	0,050	0,052
Grado di sinuosità	scarso	m ₅	1			
	apprezzabile		1,15	1,075	1,075	1,075
	notevole		1,3			
COEFF. RESISTENZA				0,057	0,054	0,056
COEFF. STRICKLER				17,55	18,60	17,89

SCABREZZA TRA PONTE BAGHETTO E PONTE S.GIACOMO

CONDIZIONI DEL CORSO D'ACQUA		VALORI DEL COEFFICIENTE		VALORE PROPOSTO GOLENA DX	VALORE PROPOSTO ALVEO	VALORE PROPOSTO GOLENA SX
Materiale d'alveo	massi, ciotoli e sabbia	n ₀	0,020 0,085	0,020	0,025	0,020
Forma sez trasversale	regolare	n ₁	0		0,000	
	abbastanza regolare		0,005	0,005		
	mod. irregolare		0,01			
	molto irregolare		0,02			
Grado uniformità long.	variazioni graduali	n ₂	0			
	saltuarie strettoie/varici		0,005	0,008	0,005	0,008
	frequenti cambi sez.		0,010 0,015			
Effetto delle ostruzioni	trascurabile	n ₃	0		0,000	
	poco importante		0,010 0,015	0,010		0,010
	apprezzabile		0,020 0,030			
	forte		0,040 0,060			
Vegetazione	scarsa	n ₄	0,002 0,010		0,002	
	media		0,010 0,025	0,015		0,015
	importante		0,025 0,050			
	molto importante		0,050 0,100			
TOTALE CHOW				0,058	0,032	0,053
Grado di sinuosità	scarso	m ₅	1		1,000	
	apprezzabile		1,15	1,075		1,075
	notevole		1,3			
COEFF. RESISTENZA				0,062	0,032	0,057
COEFF. STRICKLER				16,04	31,25	17,55

SCABREZZA TRA PONTE S.GIACOMO E PONTE TRESENDA

CONDIZIONI DEL CORSO D'ACQUA		VALORI DEL COEFFICIENTE		VALORE PROPOSTO GOLENA DX	VALORE PROPOSTO ALVEO	VALORE PROPOSTO GOLENA SX
Materiale d'alveo	massi, ciotoli e sabbia	n ₀	0,020 0,085	0,020	0,025	0,020
Forma sez trasversale	regolare	n ₁	0	0,000	0,000	
	abbastanza regolare		0,005			0,005
	mod. irregolare		0,01			
	molto irregolare		0,02			
Grado uniformità long.	variazioni graduali	n ₂	0			
	saltuarie strettoie/varici		0,005	0,005	0,005	0,008
	frequenti cambi sez.		0,010 0,015			
Effetto delle ostruzioni	trascurabile	n ₃	0	0,000	0,000	
	poco importante		0,010 0,015			0,015
	apprezzabile		0,020 0,030			
	forte		0,040 0,060			
Vegetazione	scarsa	n ₄	0,002 0,010		0,002	
	media		0,010 0,025	0,015		0,015
	importante		0,025 0,050			
	molto importante		0,050 0,100			
TOTALE CHOW				0,040	0,032	0,063
Grado di sinuosità	scarso	m ₅	1		1,000	
	apprezzabile		1,15	1,075		1,075
	notevole		1,3			
COEFF. RESISTENZA				0,043	0,032	0,068
COEFF. STRICKLER				23,26	31,25	14,77

SCABREZZA TRA PONTE TRESENDA E IMMISS. POSCHIAVINO

CONDIZIONI DEL CORSO D'ACQUA		VALORI DEL COEFFICIENTE		VALORE PROPOSTO GOLENA DX	VALORE PROPOSTO ALVEO	VALORE PROPOSTO GOLENA SX
Materiale d'alveo	massi, ciotoli e sabbia	n ₀	0,020 0,085	0,020	0,025	0,020
Forma sez trasversale	regolare	n ₁	0	0,000	0,000	
	abbastanza regolare		0,005			0,005
	mod. irregolare		0,01			
	molto irregolare		0,02			
Grado uniformità long.	variazioni graduali	n ₂	0			
	saltuarie strettoie/varici		0,005	0,005	0,005	0,005
	frequenti cambi sez.		0,010 0,015			
Effetto delle ostruzioni	trascurabile	n ₃	0		0,000	0,000
	poco importante		0,010 0,015	0,010		
	apprezzabile		0,020 0,030			
	forte		0,040 0,060			
Vegetazione	scarsa	n ₄	0,002 0,010		0,003	
	media		0,010 0,025	0,010		0,015
	importante		0,025 0,050			
	molto importante		0,050 0,100			
TOTALE CHOW				0,045	0,033	0,045
Grado di sinuosità	scarso	m ₅	1			1,000
	apprezzabile		1,15	1,075	1,075	
	notevole		1,3			
COEFF. RESISTENZA				0,048	0,035	0,045
COEFF. STRICKLER				20,67	28,19	22,22

SCABREZZA TRA IMMISS. POSCHIAVINO E RIVALLONE

CONDIZIONI DEL CORSO D'ACQUA		VALORI DEL COEFFICIENTE		VALORE PROPOSTO GOLENA DX	VALORE PROPOSTO ALVEO	VALORE PROPOSTO GOLENA SX
Materiale d'alveo	massi, ciotoli e sabbia	n ₀	0,020 0,085	0,020	0,025	0,020
Forma sez trasversale	regolare	n ₁	0	0,000	0,000	
	abbastanza regolare		0,005			0,005
	mod. irregolare		0,01			
	molto irregolare		0,02			
Grado uniformità long.	variazioni graduali	n ₂	0			
	saltuarie strettoie/varici		0,005	0,005	0,005	0,005
	frequenti cambi sez.		0,010 0,015			
Effetto delle ostruzioni	trascurabile	n ₃	0		0,000	0,000
	poco importante		0,010 0,015	0,010		
	apprezzabile		0,020 0,030			
	forte		0,040 0,060			
Vegetazione	scarsa	n ₄	0,002 0,010		0,000	
	media		0,010 0,025	0,010		0,015
	importante		0,025 0,050			
	molto importante		0,050 0,100			
TOTALE CHOW				0,045	0,030	0,045
Grado di sinuosità	scarso	m ₅	1		1,000	1,000
	apprezzabile		1,15	1,075		
	notevole		1,3			
COEFF. RESISTENZA				0,048	0,030	0,045
COEFF. STRICKLER				20,67	33,33	22,22

SCABREZZA GOLENA DX TRA IMMISS. RIVALLONE E TIRANO

CONDIZIONI DEL CORSO D'ACQUA		VALORI DEL COEFFICIENTE		VALORE PROPOSTO GOLENA DX	VALORE PROPOSTO ALVEO	VALORE PROPOSTO GOLENA SX
Materiale d'alveo	massi, ciotoli e sabbia	n ₀	0,020 0,085	0,020	0,020	0,020
Forma sez trasversale	regolare	n ₁	0			
	abbastanza regolare		0,005	0,005	0,000	0,005
	mod. irregolare		0,01			
	molto irregolare		0,02			
Grado uniformità long.	variazioni graduali	n ₂	0		0,000	
	saltuarie strettoie/varici		0,005	0,005		0,005
	frequenti cambi sez.		0,010 0,015			
Effetto delle ostruzioni	trascurabile	n ₃	0	0,000	0,000	0,000
	poco importante		0,010 0,015			
	apprezzabile		0,020 0,030			
	forte		0,040 0,060			
Vegetazione	scarsa	n ₄	0,002 0,010		0,002	
	media		0,010 0,025	0,015		0,015
	importante		0,025 0,050			
	molto importante		0,050 0,100			
TOTALE CHOW				0,045	0,022	0,045
Grado di sinuosità	scarso	m ₅	1	1,000	1,000	1,000
	apprezzabile		1,15			
	notevole		1,3			
COEFF. RESISTENZA				0,045	0,022	0,045
COEFF. STRICKLER				22,22	45,45	22,22

3.3.3. Affidabilità della stima delle scabrezze

Al fine di verificare la bontà della stima dei coefficienti di scabrezza effettuata secondo la metodologia sopra riportata sono state condotte due modellazioni idrauliche specifiche:

- a) Taratura: in riferimento ai dati di livello e portata noti alle stazioni di Fuentes e Morbegno è stata condotta una verifica idraulica nella tratta compresa tra Ardenno e Fuentes associata al picco di piena del 16 novembre 2002, i livelli calcolati dal modello idraulico sono stati successivamente confrontati con i livelli registrati.

In particolare le stazioni di rilevazione di portate e livelli a disposizione sono:

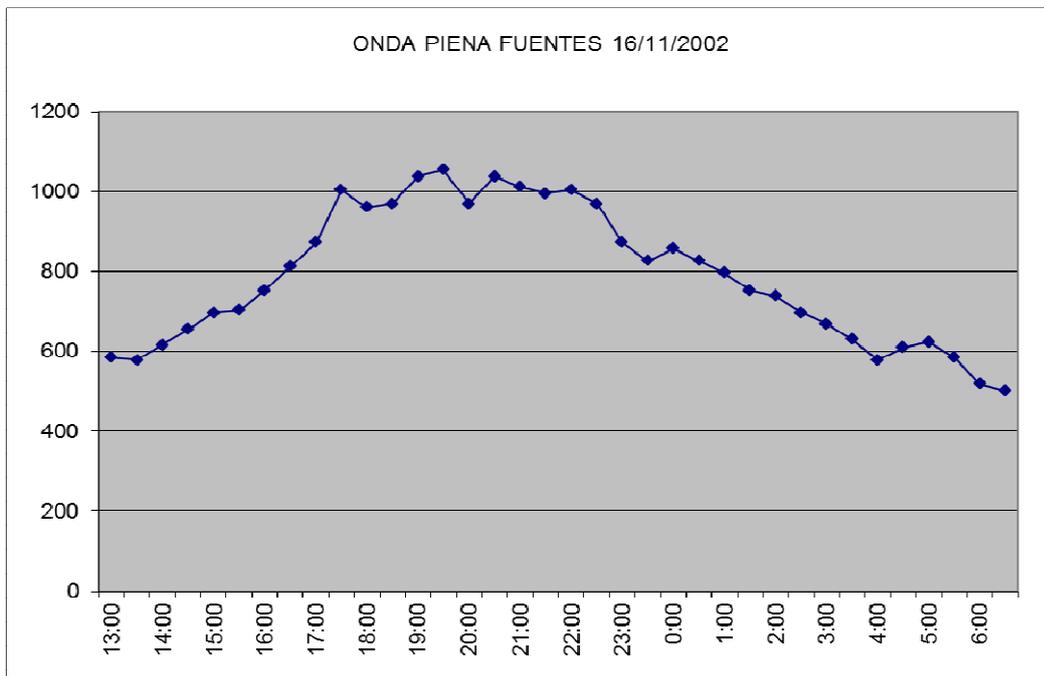
Morbegno

Ente proprietario	Consorzio dell'Adda
Ente gestore	Consorzio dell'Adda
Quota	219.00 m slm
Coordinate GPS (WGS84)	46.146111° N - 9.566389° E
 Livelli	Inizio osservazione 01-01-1984
 Portata	Inizio osservazione 01-01-1992
 Precipitazione	Inizio osservazione 01-05-1984
 Temperatura	Inizio osservazione 07-02-2000

Fuentes

Ente proprietario	Arpa Lombardia
Ente gestore	Consorzio dell'Adda
Quota	198.00 m slm
Coordinate GPS (WGS84)	46.150556° N - 9.412230° E
 Livelli	Inizio osservazione 18-01-1984
 Portata	Inizio osservazione 01-01-1982
 Precipitazione	Inizio osservazione 01-01-1990

Il consorzio dell'Adda ha fornito per ciascuna stazione l'espressione della scala delle portate e i valori delle altezze idrometriche registrate nel novembre-dicembre 2002, in base ai quali sono state ricavate le portate di cui si riportano di seguito i valori riferiti al giorno 16 novembre, data in cui si è verificato l'evento più significativo.



I valori di picco sono i seguenti:

Morbegno $Q= 670 \text{ m}^3/\text{s}$ $h=223.77$

Fuentes $Q=1055 \text{ m}^3/\text{s}$ $h=201.00$

Durante il medesimo evento la centrale Enel di Monastero turbinava la massima portata di concessione e quindi allo sbarramento di Ardenno venivano derivati 100-120 m³/s e rilasciati in alveo 600 m³/s.

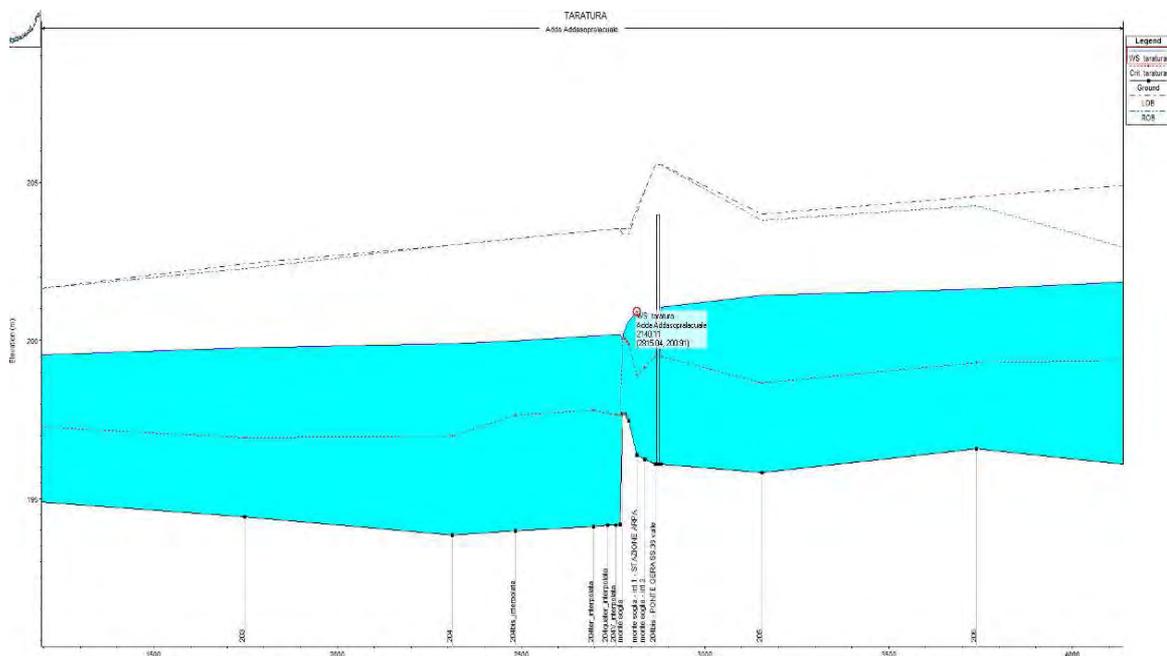
Il Consorzio dell'Adda ha fornito anche il livello del lago di Como nel medesimo giorno pari a 198.61 m s.l.m. a Malgrate che, stimando una cadente di 30 centimetri lungo il lago, porta ad avere un livello a Fuentes di 198.91 m s.l.m. assunto come condizione al contorno delle verifiche idrauliche di taratura.

Il calcolo idraulico è stato condotto in moto permanente in quanto per le portate considerate i livelli sono sempre contenuti in alveo; le condizioni al contorno assegnate sono l'altezza critica sulla traversa di Ardenno e il livello del lago di Como; le portate di verifica utilizzate sono le seguenti:

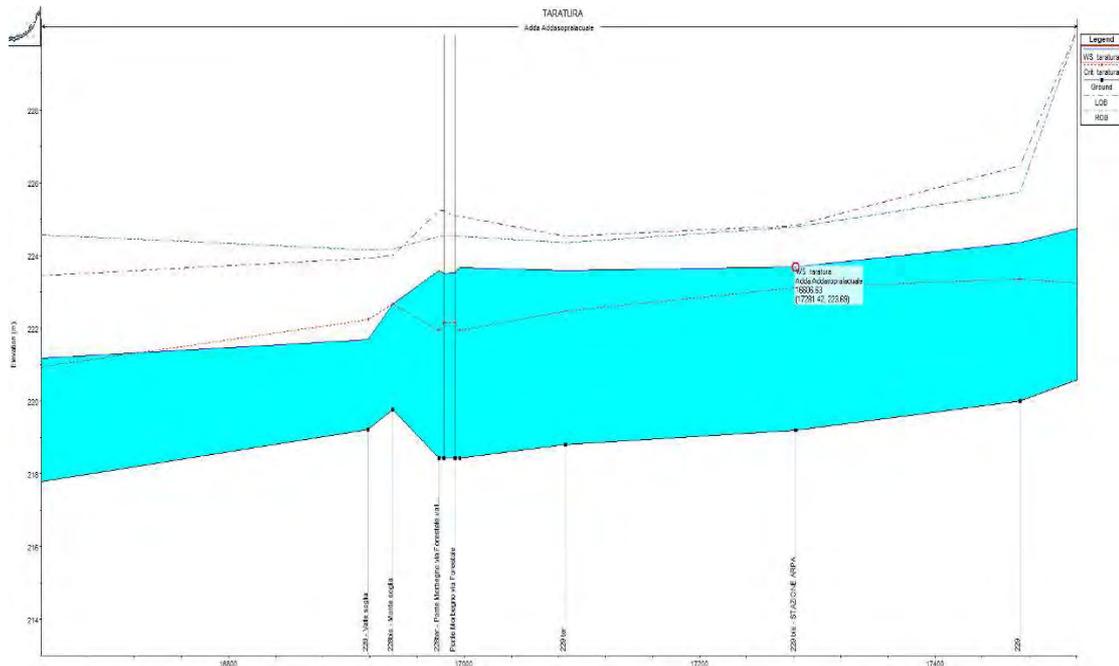
- 600 m³/s tra la traversa di Ardenno e l'idrometro di Morbegno;
- 670 m³/s tra l'idrometrografo di Morbegno e l'immissione del Bitto;
- 800 m³/s tra l'immissione del Bitto e l'immissione del Lesina;
- 1055 m³/s tra l'immissione del Lesina e Fuentes.

Il calcolo idraulico nelle condizioni sopra riportate e con le scabrezze stimate nel paragrafo precedente ha portato ai seguenti livelli:

1. stazione di Fuentes (progressiva 2140.11): 200.91 m slm



2. stazione di Morbegno (progressiva 16606.63): 223.69 m slm



Lo scostamento tra i livelli derivanti dall'applicazione delle scale delle portate e quelli calcolati è dell'ordine di 10 centimetri su battenti di circa 4.5 m.

Si può quindi affermare che la stima delle scabrezze effettuata è del tutto rappresentativa della situazione reale.

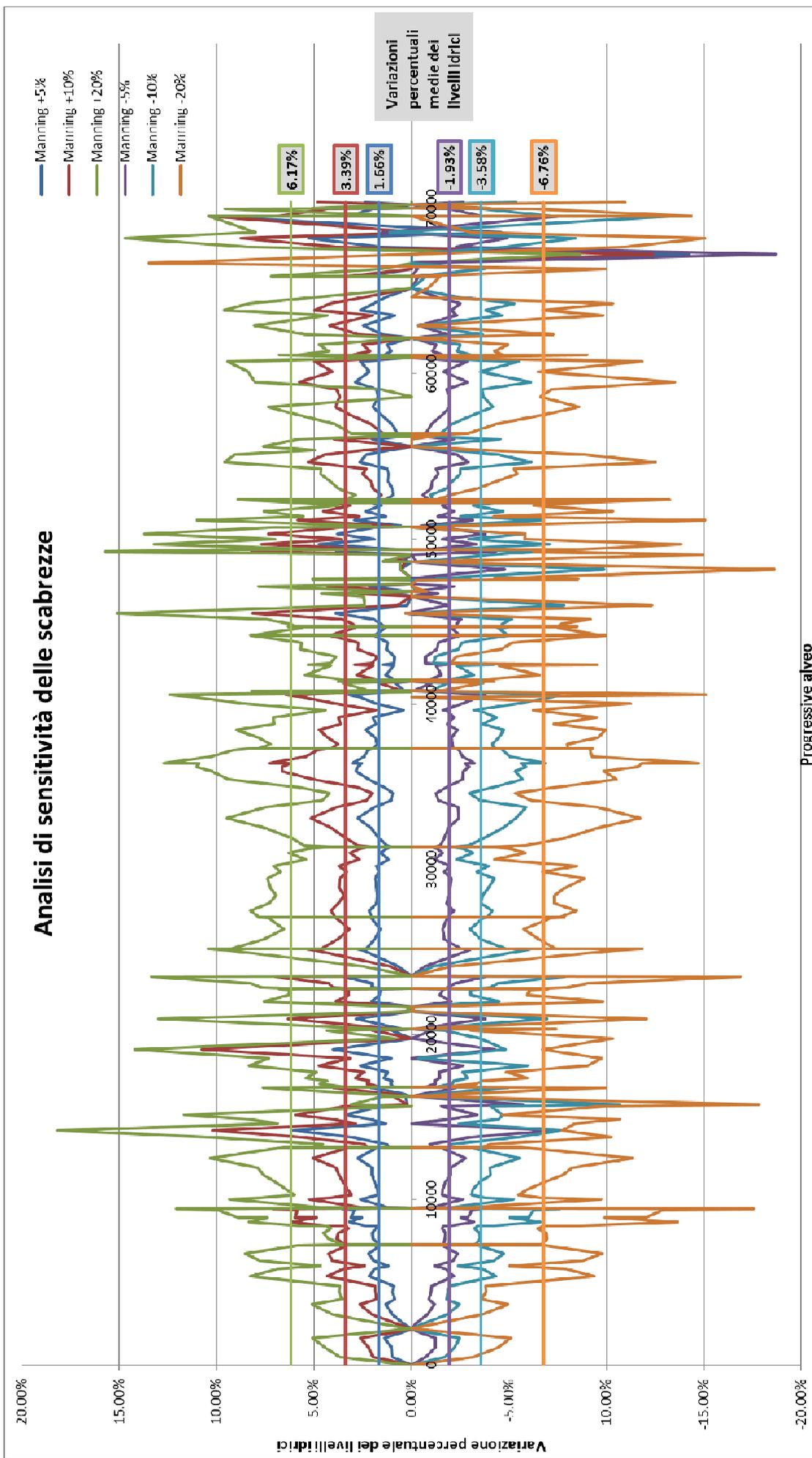
b) Analisi di sensitività: alle scabrezze stimate sono state applicate delle variazioni percentuali in aumento e diminuzione ($\pm 5\%$, $\pm 10\%$, $\pm 20\%$) in riferimento al transito della piena con tempo di ritorno di 20 anni, è stata quindi valutata l'incidenza della variazione della scabrezza sulla variazione dei livelli idrici calcolati. Dal diagramma seguente si evince che:

- la variazione di scabrezza non comporta una variazione costante dei livelli idrici lungo l'alveo in quanto influenzati anche dalle dinamiche idrauliche, ad esempio il passaggio per lo stato critico che è indipendente dalla scabrezza;
- la variazione media dei livelli idrici prodotta da una aumento del 20% delle scabrezze è pari al 6.17%, corrispondente ad una variazione di battente di 0.30 m;
- la variazione media dei livelli idrici prodotta da una aumento del 10% delle scabrezze è pari al 3.39%, corrispondente ad una variazione di battente di 0.17 m;

- la variazione media dei livelli idrici prodotta da un aumento del 5% delle scabrezze è pari al 1.66%, corrispondente ad una variazione di battente di 0.08 m;
- la variazione media dei livelli idrici prodotta da una diminuzione del 5% delle scabrezze è pari al 1.93%, corrispondente ad una variazione di battente di - 0.09 m
- la variazione media dei livelli idrici prodotta da una diminuzione del 10% delle scabrezze è pari al 3.58%, corrispondente ad una variazione di battente di - 0.18 m
- la variazione media dei livelli idrici prodotta da una diminuzione del 20% sulle scabrezze è pari al 6.76%, corrispondente ad una variazione di battente di - 0.33 m

La stima del coefficiente di Manning basata sulle indicazioni bibliografiche, sui sopralluoghi e sull'esperienza può avere errori stimabili al massimo in un +/-10% che si traduce in una variazione media di livello di 17 cm corrispondente al 3.5% del battente.

Dato che il battente medio è di 5 m si ritiene che la stima delle scabrezze effettuata sia tale da non introdurre errori significativi nel calcolo idraulico.



4. IDROLOGIA

4.1. GENERALITA'

Per il calcolo delle portate di piena del Fiume Adda interessato dalla verifica, è stata richiesta la predisposizione di un modello idrologico semplificato finalizzato a definire le portate al colmo per diversi tempi di ritorno. Esula quindi dal presente studio l'analisi dei dati di pioggia e, attraverso una modellazione di trasformazione afflussi/deflussi, il calcolo rigoroso delle portate di progetto, cosa che richiederebbe uno studio approfondito con problemi di taratura di non semplice e immediata soluzione.

Il modello proposto quindi fa riferimento ai dati del Piano per il riassetto Idrogeologico dell'Adda sopralacuale, tentando di superare la problematica della variazione delle portate al colmo per progressive intermedie a quelle di P.A.I.. A tal fine, dato che le portate a disposizione si riferiscono a quattro sezioni dell'asta fluviale, si sono stimati i valori delle portate in corrispondenza degli apporti significativi, tramite una interpolazione tra i valori di valle e quelli di monte proporzionale alle aree di bacino sottese; in tal modo si giunge quindi ad una discretizzazione senz'altro più aderente alla realtà tenendo conto dei contributi dei 14 principali affluenti. Non si è proceduto all'applicazione dei metodi di regionalizzazione in quanto si ritiene che le portate P.A.I. derivino da una stima probabilistica delle portate di piena con un livello di affidabilità superiore rispetto a quello ottenibile con metodi semplificativi di similitudine idrologica.

I dati ottenuti sono poi stati confrontati con le stime effettuate in altre sedi: in particolare lo studio SP1.1 allegato al P.A.I., lo studio "real time" effettuato dall'Autorità di Bacino, e le portate stimate da ARPA Lombardia nell'ambito del "Progetto Flora" con metodologie di tipo semi deterministico.

4.2. DEFINIZIONE DELLE PORTATE AL COLMO

Nel presente capitolo vengono definite le portate al colmo che saranno poi utilizzate per la modellazione idraulica del fiume. Si è proceduto dapprima con la metodologia da noi proposta partendo dai dati di P.A.I. e successivamente con quella proposta dal Progetto Flora e altri studi, per poterne infine confrontare i risultati.

4.2.1. Discretizzazione dei dati di P.A.I.

Di seguito viene applicata la metodologia sopra descritta (denominata "studio"), partendo dalle indicazioni più significative del P.A.I., ovvero l'estratto della tabella 5 allegata al

P.A.I. - direttive di piena - portate di piena per i corsi d'acqua principali del bacino dell'Adda.

ESTRATTO TAB. 5 ALLEGATA AL P.A.I.

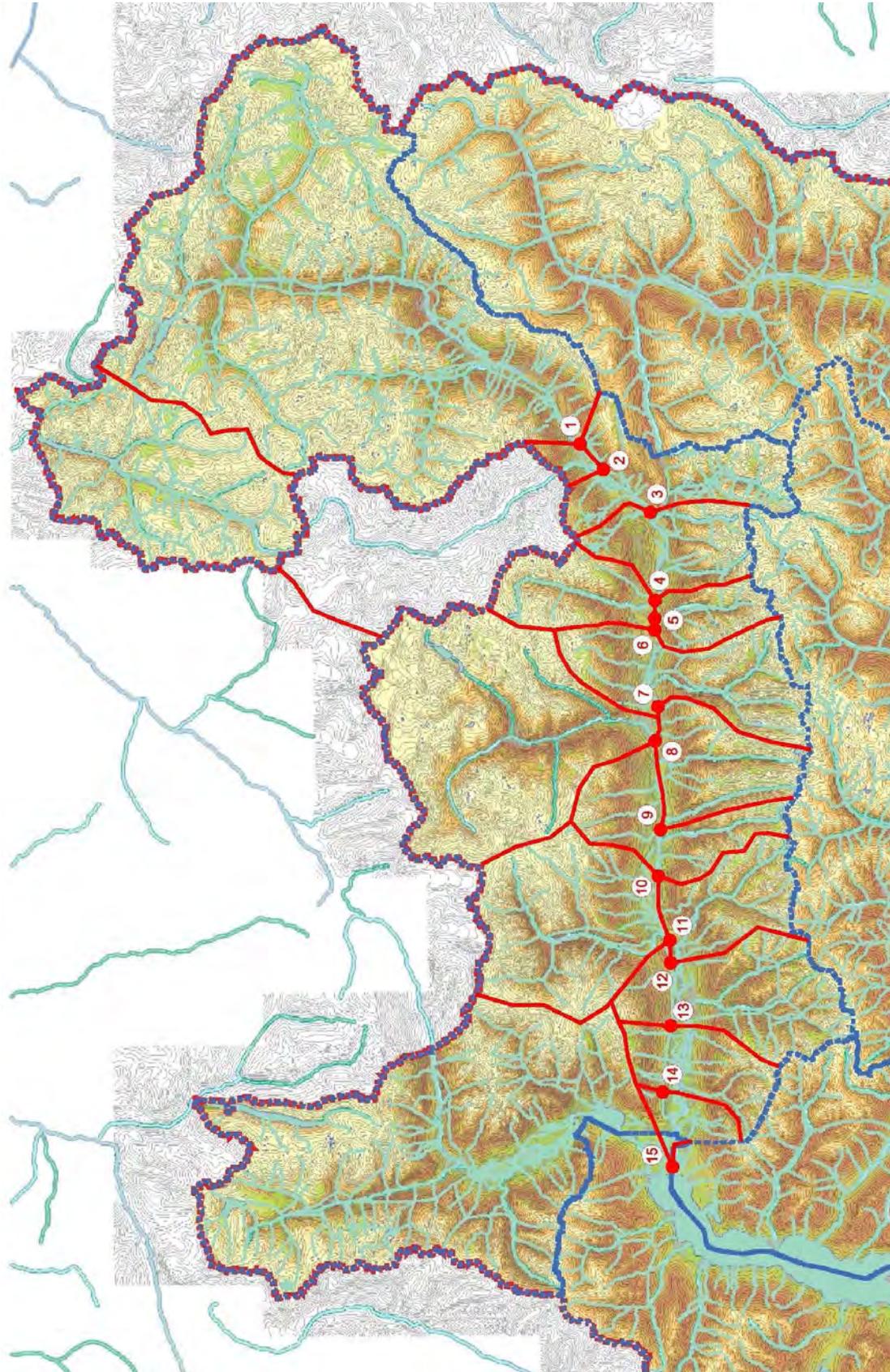
Tabella 5: portate di piena per i corsi d'acqua principali del bacino dell'Adda (Adda, Brembo, Mera, Serio)

Bacino	Corso d'acqua	Sezione			Superficie km ²	Q20 m ³ /s	Q100 m ³ /s	Q200 m ³ /s	Q500 m ³ /s	Idrometro Denominazione
		Progr.(km)	Cod.	Denomin.						
Adda	Brembo	18.954	135	Lenna	155	450	560	650	730	
Adda	Brembo	20.460	121	Scalvino	315	620	780	840	920	
Adda	Brembo	51.683	32	Ponte Briolo	765	830	1040	1130	1250	Brembo a Ponte Briolo
Adda	Brembo	65.474	5	Confluenza in Adda	964	900	1130	1220	1350	
Adda	Serio	54.660	110	Alzano Lombardo	551	410	530	570	630	
Adda	Serio	81.600	66	Romano di Lombardia	717	470	570	620	700	
Adda	Serio	105.524	24	Crema	1034	530	650	720	800	
Adda	Serio	116.572	5	Confl. in Adda	1078	530	650	720	800	
Adda	Adda sopralac.	20.610	403	Le Prese	577	460	640	720	820	
Adda	Adda sopralac.	46.487	330	Tirano	906	530	750	830	950	Adda a Tirano
Adda	Adda sopralac.	73.778	270	Sondrio	1932	980	1290	1430	1600	
Adda	Adda sopralac.	91.815	238	Masino	2344	1050	1380	1530	1710	
Adda	Adda sopralac.	113.402	201	Fuentes	2598	1070	1410	1560	1750	Adda a Fuentes
Adda	Adda sopralac.	170.550	200	Lavello	4572	680	830	900	990	Adda a Lavello
Adda	Adda sottolac.	192.386	165	Trezzo	4640	-	-	980	-	
Adda	Adda sottolac.	201.790	151	sull'Adda Cassano d'Adda	5748	-	-	1150	-	
Adda	Adda sottolac.	257.905	68	Bocca di Serio	7514	-	-	1800	-	
Adda	Adda sottolac.	278.997	30	Pizzighettone	7775	1440	1840	2000	2220	Adda a Pizzighettone
Adda	Adda sottolac.	293.895	2	Confl. in Po	7938	-	-	2000	-	
Adda	Mera	34.170	40	Chiavenna	267	630	780	870	960	
Adda	Mera	35.975	35	Valle confluenza Liro	461	1000	1300	1500	1700	
Adda	Mera	47.891	2	Confluenza in l. di Mezzola	541	1070	1350	1540	1730	

Vengono poi individuate le sezioni delle immissioni più significative, con evidenti semplificazioni (riportando ad esempio alla stessa sezione di chiusura bacini retici e/o orobici che chiudono a progressive molto vicine), calcolandone la superficie e quindi interpolandone le portate.

Nel seguito viene anche allegata la planimetria dell'intero bacino dell'Adda sopralacuale con evidenza i suddetti 14 bacini secondari.

BACINO FIUME ADDA SOPRALACUALE

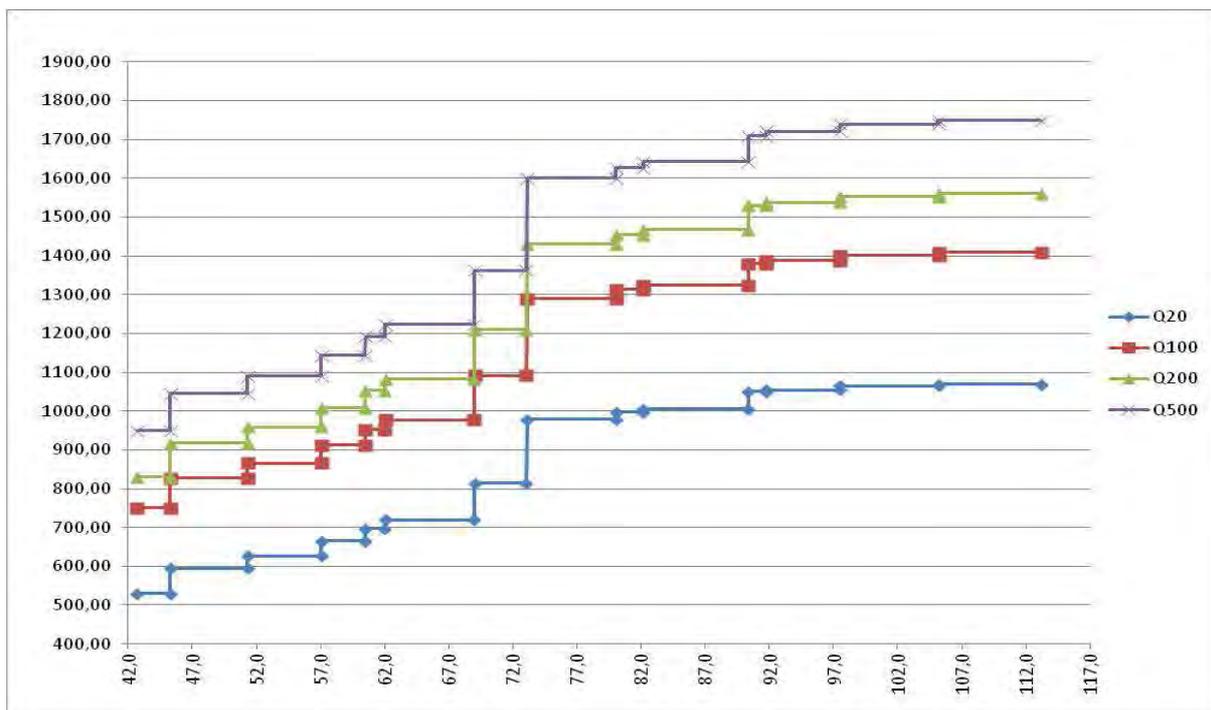


I valori dell'elaborazione sono stati riportati nella tabella seguente, per i tempi di ritorno significativi e di seguito rappresentati in forma di diagramma.

TABELLA PORTATE ADDA SOPRALACUALE “STUDIO”

RIFERIMENTO	SEZIONE PAI	PROGRESSIVA PAI (KM)		SUPERFICIE Km2	Q20 m3/sec	Q100 m3/sec	Q200 m3/sec	Q500 m3/sec
Tirano	337	42+680	42,680	906,00	530,00	750,00	830,00	950,00
Monte sbocco Posch	331bis	45+300	45,300		530,00	750,00	830,00	950,00
Sbocco Posch	331	45+380	45,300	1056,00	595,00	828,00	917,00	1045,00
Monte sbocco Belviso	318ter	51+300	51,300		595,00	828,00	917,00	1045,00
Sbocco Belviso	318BIS	51+323	51,323	1128,00	627,00	866,00	959,00	1090,00
Monte sbocco Malgina	307BIS	57+050	57,050		627,00	866,00	959,00	1090,00
Sbocco Malgina	307	57+065	57,065	1214,00	665,00	912,00	1009,00	1144,00
Monte sbocco Fontana	300ter	60+440	60,440		665,00	912,00	1009,00	1144,00
Sbocco Fontana	300BIS	60+493	60,493	1291,00	698,00	952,00	1054,00	1193,00
Monte sbocco Armisa	297BIS	62+000	62,000		698,00	952,00	1054,00	1193,00
Sbocco Armisa	297	62+004	62,004	1340,00	720,00	978,00	1083,00	1224,00
Monte sbocco Venina	279bis	68+950	68,950		720,00	978,00	1083,00	1224,00
Sbocco Venina	279	68+985	68,985	1560,00	815,00	1092,00	1211,00	1363,00
Monte sbocco Mallero	270bis	73+000	73,000		815,00	1092,00	1211,00	1363,00
Mallero Sondrio	270	73+114	73,114	1932,00	980,00	1290,00	1430,00	1600,00
Monte sbocco Cervio	257bis	80+000	80,000		980,00	1290,00	1430,00	1600,00
Sbocco Cervio	257	80+040	80,040	2040,00	998,00	1313,00	1455,00	1628,00
Monte sbocco Madrasco	252bis	82+150	82,150		998,00	1313,00	1455,00	1628,00
Sbocco Madrasco	252	82+155	82,155	2090,00	1006,00	1324,00	1468,00	1642,00
Monte sbocco Masino	239bis	90+330	90,330		1006,00	1324,00	1468,00	1642,00
Sbocco Masino	239	90+337	90,337	2345,00	1050,00	1380,00	1530,00	1710,00
Monte sbocco Tartano	237bis	91+700	91,700		1050,00	1380,00	1530,00	1710,00
Sbocco Tartano	237	91+760	91,760	2420,00	1055,00	1388,00	1538,00	1721,00
Monte sbocco Bitto	227bis	97+450	97,450		1055,00	1388,00	1538,00	1721,00
Sbocco Bitto	227	97+486	97,486	2537,00	1065,00	1402,00	1552,00	1740,00
Monte sbocco Lesina	214bis	105+150	105,150		1065,00	1402,00	1552,00	1740,00
Sbocco Lesina	214	105+170	105,170	2587,00	1070,00	1410,00	1560,00	1750,00
Fuentes	201	113+155	113,155	2598,00	1070,00	1410,00	1560,00	1750,00

DIAGRAMMA PORTATE ADDA SOPRALACUALE



4.2.2. Portate derivanti dallo studio SP1

Nell'ambito del P.A.I. fu elaborato un sottoprogetto denominato "Sottoprogetto del Progetto Po "SP1.1 – piene e naturalità degli alvei" che contiene elaborazioni conoscitive di valutazione della rete idrografica principale di pianura e dei fondovalle alpini, confluite nel "Secondo Piano Stralcio delle Fasce Fluviali"; in tale progetto era studiato un modello in moto vario, che teneva conto delle aree di laminazione lungo il corso dell'Adda, e di conseguenza della variazione di portata, anche in diminuzione, proseguendo da monte verso valle. Ovviamente tale studio si basava sulla topografia del momento, quindi non conforme a quella attuale. Perché possa avere una validità pratica il modello dovrebbe essere aggiornato allo stato attuale dei luoghi, con definizione dell'onda di piena di riferimento aggiornata e quindi basata su uno studio idrologico rigoroso e tarato.

Di seguito viene riportata la tabella riepilogativa dei dati di portata, estratta dal suddetto studio, che verranno poi confrontati con le risultanze degli altri metodi.

**TABELLA PORTATE ADDA SOPRALACUALE MODELLO SP1
(ESTRATTO)**

RIFERIMENTO	PROGRESSIVA	Q20 m3/sec	Q100 m3/sec	Q200 m3/sec
	PAI (KM)	Prog. SP1	Prog. SP1	Prog. SP1
Tirano	42+680	524,73	737,79	829,07
Monte sbocco Posch	45+300	530,22	744,53	837,89
Sbocco Posch	45+380	533,51	719,34	782,3
Monte sbocco Belviso	51+300	569,32	771,04	854,84
Sbocco Belviso	51+323	570,63	772,96	856,06
Monte sbocco Malgina	57+050	584,16	799,01	787,7
Sbocco Malgina	57+065	577,38	789,87	869,8
Monte sbocco Fontana	60+440	580,92	789,45	869,92
Sbocco Fontana	60+493	594,51	806,25	888,93
Monte sbocco Armisa	62+000	593,14	803,49	885,68
Sbocco Armisa	62+004	594,28	804,75	887,19
Monte sbocco Venina	68+950	607,49	820,13	903,91
Sbocco Venina	68+985	607,56	820,06	903,84
Monte sbocco Mallero	73+000	612,31	824,76	908,42
Mallero Sondrio	73+114	613,09	825,71	909,56
Monte sbocco Cervio	80+000	909,67	1216,24	1365,41
Sbocco Cervio	80+040	903,17	1206,93	1356,05
Monte sbocco Madrasco	82+150	913,7	1205,03	1338,75
Sbocco Madrasco	82+155	904,45	1180,64	1311,07
Monte sbocco Masino	90+330	903,96	1169,21	1306,97
Sbocco Masino	90+337	984,07	1259,8	1430,29
Monte sbocco Tartano	91+700	984,28	1260,1	1430,78
Sbocco Tartano	91+760	1068,76	1370,97	1577,17
Monte sbocco Bitto	97+450	1086,91	1374,53	1572,27
Sbocco Bitto	97+486	1090,92	1378,91	1756,43
Monte sbocco Lesina	105+150	1190,48	1470,73	1664,16
Sbocco Lesina	105+170	1171,01	1438,59	1622,04
Fuentes	113+155	1139,94	1353,38	1475,63

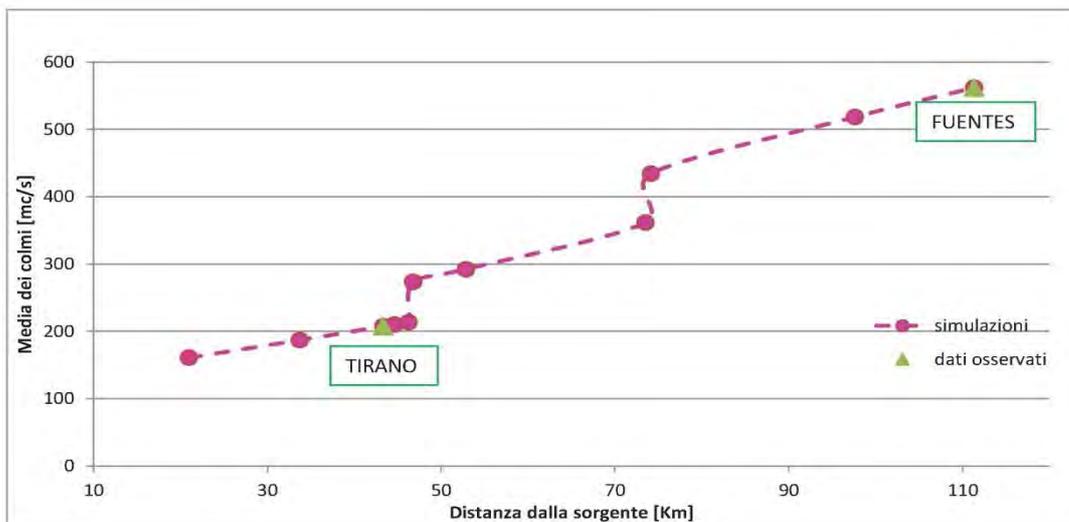
N.B. Le progressive sono leggermente diverse a quelle dello studio SP1, e riportate alle immissioni significative per potere effettuare un confronto diretto con altri metodi utilizzati.

4.2.3. Portate con la metodologia “Progetto Flora”

Per la tratta in esame il “Progetto Flora” (Flood estimation in complex Orographic area for Risk mitigation in Alpine space), elaborato da A.R.P.A. Lombardia e Piemonte con il contributo del Dipartimento del Territorio della Repubblica del Canton Ticino, fornisce tra l'altro le portate al colmo per i diversi tempi di ritorno ricavate per estensione da situazioni rilevate per eventi con tempi di ritorno ordinari; sono state prese in considerazione otto sezioni ritenute significative, ossia:

- Tirano
- pre Poschiavino
- Post Poschiavino
- Teglio
- Pre Mallero
- Post Mallero
- Morbegno
- Fuentes

TABELLA ESTRATTA DA PROGETTO FLORA



	Sezione	Distanza dalla sorgente [Km]	Media massimi annuali di portata al colmo [mc/s]	Qc	Qc	Qc	Qc	Qc	Qc	Qc	Qc	
				Tr 1.33 anni	Tr 5 anni	Tr 10 anni	Tr 20 anni	Tr 50 anni	Tr 100 anni	Tr 200 anni	Tr 500 anni	
ADDA PRE LACUALE	ALTA VALTELLINA	le prese sondalo	20.970	161	104	214	264	314	383	439	497	578
		post roasco	33.729	187	121	249	307	365	446	510	577	672
		tirano	43.326	208	134	277	341	405	495	566	641	745
		pre poschiavo	44.628	210	136	280	345	411	501	573	649	755
		pre poschiavo bis	46.244	213	138	285	350	417	509	582	659	767
	POST POSCHIAVO	post poschiavo	46.740	274	177	365	449	535	652	746	844	983
		teglgio	52.832	292	189	390	480	571	697	797	902	1050
		pre mallero	73.499	362	234	482	594	707	862	986	1117	1299
	POST MALLERO	post mallero	74.133	435	282	579	713	849	1036	1185	1341	1561
		morbegno	97.621	519	336	691	851	1013	1236	1414	1601	1863
FUENTES		111.329	562	364	749	922	1098	1340	1533	1735	2019	

Per un confronto più dettagliato con le portate valutate nel cap. 4.2.1. del presente studio con quelle del “Progetto Flora”, si è proceduto al calcolo delle portate al colmo nelle sezioni corrispondenti a quelle da noi utilizzate, con interpolazione lineare tra le sezioni di portata calcolata in funzione della progressiva geometrica, così come suggerito dallo stesso progetto.

I risultati, per diversi tempi di ritorno, sono riassunti nella tabella seguente.

TABELLA PORTATE PROGETTO FLORA

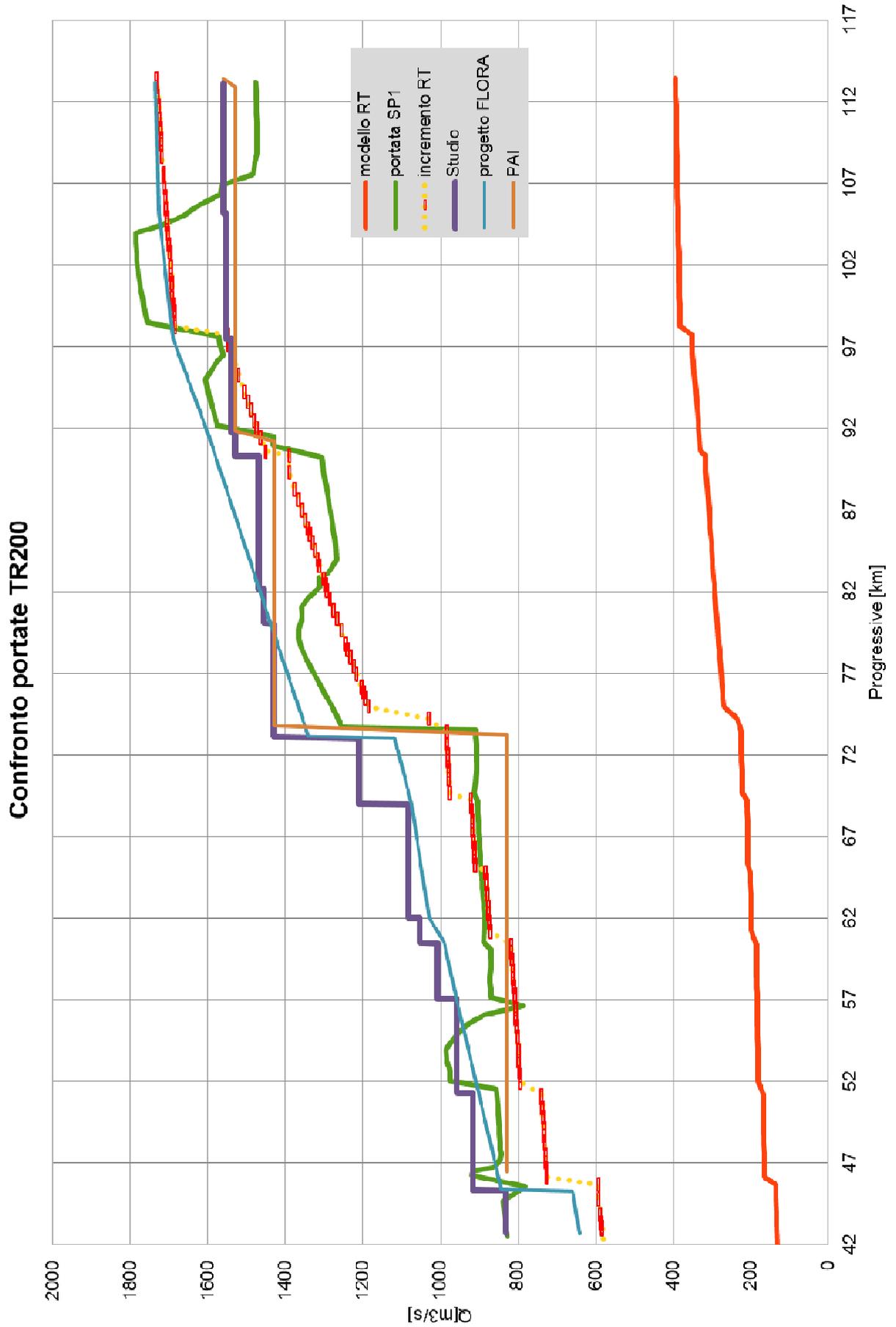
RIFERIMENTO	PROGRESSIVA	Q20 m3/sec	Q100 m3/sec	Q200 m3/sec	Q500 m3/sec
	PAI (KM)	Prog. FLORA	Prog. FLORA	Prog. FLORA	Prog. FLORA
Tirano	42+680	405,00	566,00	641,00	745,00
Monte sbocco Posch	45+300	417,00	582,00	659,00	767,00
Sbocco Posch	45+380	535,00	746,00	844,00	983,00
Monte sbocco Belviso	51+300				
Sbocco Belviso	51+323	571,00	797,00	902,00	1050,00
Monte sbocco Malgina	57+050				
Sbocco Malgina	57+065	608,00	847,00	959,00	1116,00
Monte sbocco Fontana	60+440				
Sbocco Fontana	60+493	628,00	876,00	992,00	1155,00
Monte sbocco Armisa	62+000				
Sbocco Armisa	62+004	628,00	906,00	1029,00	1199,00
Monte sbocco Venina	68+950				
Sbocco Venina	68+985	681,00	950,00	1076,00	1251,00
Monte sbocco Mallero	73+000	707,00	986,00	1117,00	1299,00
Mallero Sondrio	73+114	849,00	1185,00	1341,00	1561,00
Monte sbocco Cervio	80+000				
Sbocco Cervio	80+040	895,00	1270,00	1438,00	1673,00
Monte sbocco Madrasco	82+150				
Sbocco Madrasco	82+155	910,00	1296,00	1467,00	1709,00
Monte sbocco Masino	90+330				
Sbocco Masino	90+337	964,00	1396,00	1581,00	1840,00
Monte sbocco Tartano	91+700				
Sbocco Tartano	91+760	974,00	1414,00	1601,00	1863,00
Monte sbocco Bitto	97+450				
Sbocco Bitto	97+486	1056,00	1492,00	1689,00	1966,00
Monte sbocco Lesina	105+150				
Sbocco Lesina	105+170	1090,00	1526,00	1727,00	2009,00
Fuentes	113+155	1098,00	1533,00	1735,00	2019,00

4.3. CONFRONTO DEI RISULTATI

Il confronto tra le portate tratte dagli studi considerati e quelle stimate nel presente modello idrologico semplificato basato sui contenuti del P.A.I. come descritto in precedenza portano alle seguenti considerazioni:

1. Il modello P.A.I. concentrava in quattro sezioni bruschi incrementi di portata;
2. Il modello in moto vario SP1 introduce due punti di incremento di portata in più rispetto al P.A.I. e presenta decrementi in corrispondenza delle laminazioni legate tuttavia a una topografia e idrologia non più attuale;
3. Il modello "real time" prende in considerazione eventi con portate relative a bassi tempi di ritorno, e l'extrapolazione per tempi maggiori riportata nel diagramma seguente andrebbe supportata da un'analisi idrologica con possibilità di taratura;
4. Il "Progetto Flora" ha un andamento delle portate che bene interpreta i valori di SP1 tranne che nell'ultima tratta dove le laminazioni comportano un notevole decremento di portata nel modello SP1 tuttavia appare come il modello P.A.I. poco discretizzato lungo l'asta fluviale;
5. Il modello semplificato proposto, denominato "Studio", introduce le discretizzazioni di portata ritenute necessarie per meglio rappresentare i contributi degli affluenti principali, ha valori di portata sempre superiori al modello P.A.I. e bene interpreta anche le risultanze del progetto Flora fino allo sbocco del Masino (progressiva 90+337).

Nel diagramma seguente vengono confrontati, a titolo esemplificativo, i risultati delle varie modellazioni per Tr 200 anni.



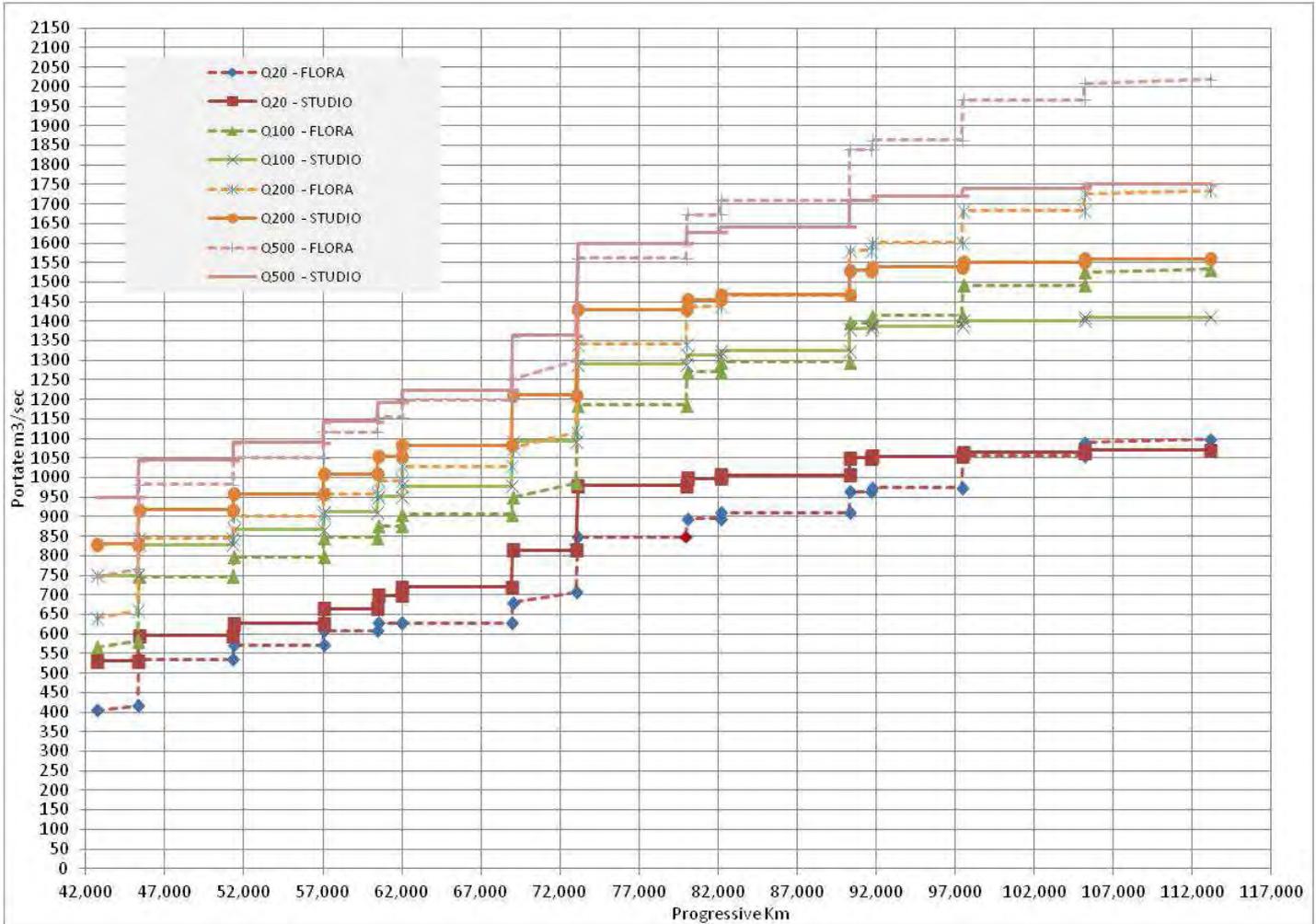
Di seguito vengono analizzati più in dettaglio e confrontati i dati di portata derivanti dal modello semplificato proposto “Studio” e quello del “Progetto Flora”

La seguente tabella riporta entrambi i dati per diversi tempi di ritorno, permettendo così un confronto diretto sezione per sezione, e successivamente evidenziati in forma di diagramma.

TABELLA DI CONFRONTO PORTATA P.A.I. - PROGETTO FLORA

RIFERIMENTO	PROGRESSIVA	Q20 m ³ /sec		Q100 m ³ /sec		Q200 m ³ /sec		Q500 m ³ /sec	
	PAI (KM)	Prog. FLORA	Studio	Prog. FLORA	Studio	Prog. FLORA	Studio	Prog. FLORA	Studio
Tirano	42+680	405,00	530,00	566,00	750,00	641,00	830,00	745,00	950,00
Monte sbocco Posch	45+300	417,00	530,00	582,00	750,00	659,00	830,00	767,00	950,00
Sbocco Posch	45+380	535,00	595,00	746,00	828,00	844,00	917,00	983,00	1045,00
Monte sbocco Belviso	51+300		595,00		828,00		917,00		1045,00
Sbocco Belviso	51+323	571,00	627,00	797,00	866,00	902,00	959,00	1050,00	1090,00
Monte sbocco Malgina	57+050		627,00		866,00		959,00		1090,00
Sbocco Malgina	57+065	608,00	665,00	847,00	912,00	959,00	1009,00	1116,00	1144,00
Monte sbocco Fontana	60+440		665,00		912,00		1009,00		1144,00
Sbocco Fontana	60+493	628,00	698,00	876,00	952,00	992,00	1054,00	1155,00	1193,00
Monte sbocco Amisa	62+000		698,00		952,00		1054,00		1193,00
Sbocco Amisa	62+004	628,00	720,00	906,00	978,00	1029,00	1083,00	1199,00	1224,00
Monte sbocco Venina	68+950		720,00		978,00		1083,00		1224,00
Sbocco Venina	68+985	681,00	815,00	950,00	1092,00	1076,00	1211,00	1251,00	1363,00
Monte sbocco Mallero	73+000	707,00	815,00	986,00	1092,00	1117,00	1211,00	1299,00	1363,00
Mallero Sondrio	73+114	849,00	980,00	1185,00	1290,00	1341,00	1430,00	1561,00	1600,00
Monte sbocco Cervio	80+000		980,00		1290,00		1430,00		1600,00
Sbocco Cervio	80+040	895,00	998,00	1249,00	1313,00	1414,00	1455,00	1646,00	1628,00
Monte sbocco Madrasco	82+150		998,00		1313,00		1455,00		1628,00
Sbocco Madrasco	82+155	910,00	1006,00	1270,00	1324,00	1437,00	1468,00	1672,00	1642,00
Monte sbocco Masino	90+330		1006,00		1324,00		1468,00		1642,00
Sbocco Masino	90+337	964,00	1050,00	1347,00	1380,00	1525,00	1530,00	1774,00	1710,00
Monte sbocco Tartano	91+700		1050,00		1380,00		1530,00		1710,00
Sbocco Tartano	91+760	974,00	1055,00	1360,00	1388,00	1539,00	1538,00	1791,00	1721,00
Monte sbocco Bitto	97+450		1055,00		1388,00		1538,00		1721,00
Sbocco Bitto	97+486	1013,00	1065,00	1414,00	1402,00	1601,00	1552,00	1863,00	1740,00
Monte sbocco Lesina	105+150		1065,00		1402,00		1552,00		1740,00
Sbocco Lesina	105+170	1054,00	1070,00	1472,00	1410,00	1672,00	1560,00	1939,00	1750,00
Fuentes	113+155	1098,00	1070,00	1533,00	1410,00	1735,00	1560,00	2019,00	1750,00

DIAGRAMMA CONFRONTO PORTATE



A commento della tabella (e diagramma) sembra utile evidenziare quanto segue:

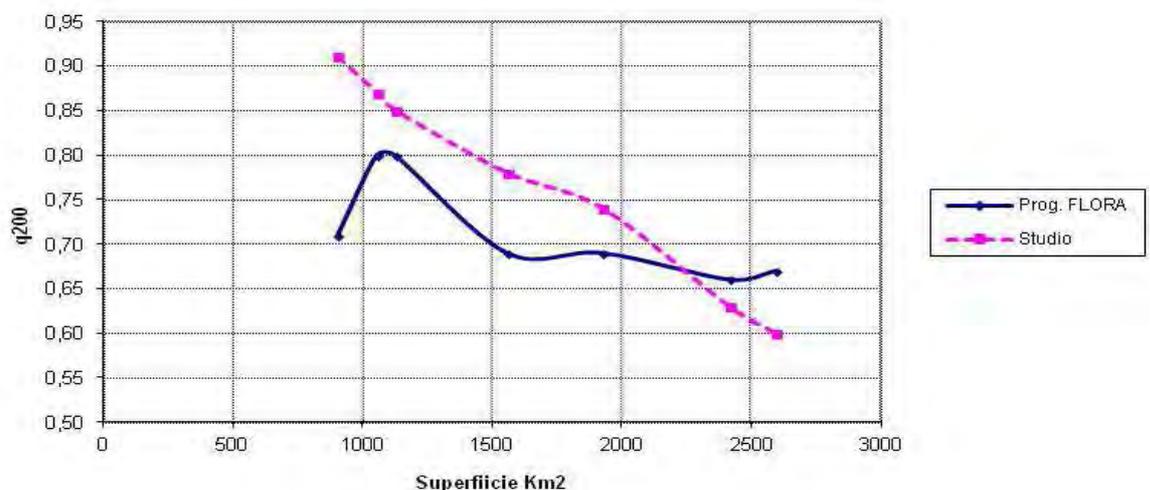
1. Le portate di partenza della tratta in oggetto, ovvero Tirano, che sottende un bacino di 906 Km², sono notevolmente diverse; quelle di P.A.I., per ogni Tr, risultano maggiori dei quelle del "Progetto Flora" mediamente del 30%. Ad esempio del Tr = 200 anni si passa da 830 m³/s a 641. A ciò corrisponde un apporto unitario $q_{200} = 0,9 \text{ m}^3/\text{s} \times \text{Km}^2$ (studio) e $0,7 \text{ m}^3/\text{s} \times \text{Km}^2$ rispettivamente (Flora); tale ultimo contributo unitario, paragonato a quello di bacini simili per estensione e localizzazione derivanti da letteratura risulta modesto;
2. Pure le portate di arrivo, Fuentes, che sottende un bacino di 2598 Km², sono diverse, ma in maniera inversa, ovvero quelle di del "Progetto Flora" risultano maggiori di quelle P.A.I. mediamente del 10%. Ad esempio del Tr = 200 anni si passa da 1.735 m³/s a 1.560. A ciò corrisponde un apporto unitario $q_{200} = 0,66 \text{ m}^3/\text{s} \times \text{Km}^2$ e $0,6 \text{ m}^3/\text{s} \times \text{Km}^2$ rispettivamente;

3. Se ne deduce che la curva dell'apporto unitario rispetto alla superficie secondo lo studio P.A.I. varia in maniera molto più sensibile che non per quello del "Progetto Flora", come si evince dal grafico seguente. A nostro modesto giudizio l'andamento della curva P.A.I. (caratterizzata da gradiente maggiore) è più attinente a bacini con superficie non molto estesa, mentre il secondo (gradiente minore) è più tipico di bacini molto estesi; inoltre l'andamento di tale indice è più regolare nel modello P.A.I., mentre l'altro presenta un andamento meno regolare con aumento (anomalo) di tale indice sia in corrispondenza del T. Poschiavino, sia nella parte bassa del bacino (Lesina – Fuentes). Tali irregolarità non trovano a nostro avviso una giustificazione tecnica: il tipo di apporto del T. Poschiavino non è tanto diverso da quello dei sottobacini di monte (es. Roasco – Valfurva ecc), né per estensione, né per orografia né per caratteristiche di piovosità.

TABELLA DI CONFRONTO PORTATA UNITARIA q₂₀₀ -T.r. 200 - P.A.I. / PROGETTO FLORA

RIFERIMENTO	SUPERFICIE (KM ²)	Prog. FLORA	Studio
Tirano - Monte sbocco Posch	906,00	0,71	0,91
Valle sbocco Posch	1056,00	0,80	0,87
Teglio	1128,00	0,80	0,85
Sondrio - Monte Mallero	1560,00	0,69	0,78
Sondrio - Valle Mallero	1930,00	0,69	0,74
Morbegno	2420,00	0,66	0,63
Fuentes	2598,00	0,67	0,60

DIAGRAMMA CONFRONTO q₂₀₀



4.4. CONCLUSIONI

Dal confronto delle portate ad oggi a disposizione e viste le considerazioni riportate nei paragrafi precedenti si può quindi concludere che a nostro avviso, non essendo elementi oggettivi di taratura su elevati tempi di ritorno per valutare quale modello sia più affidabile, può essere utile adottare cautelativamente le portate più elevate tra il modello "studio" (P.A.I. discretizzato) e il "Progetto Flora".

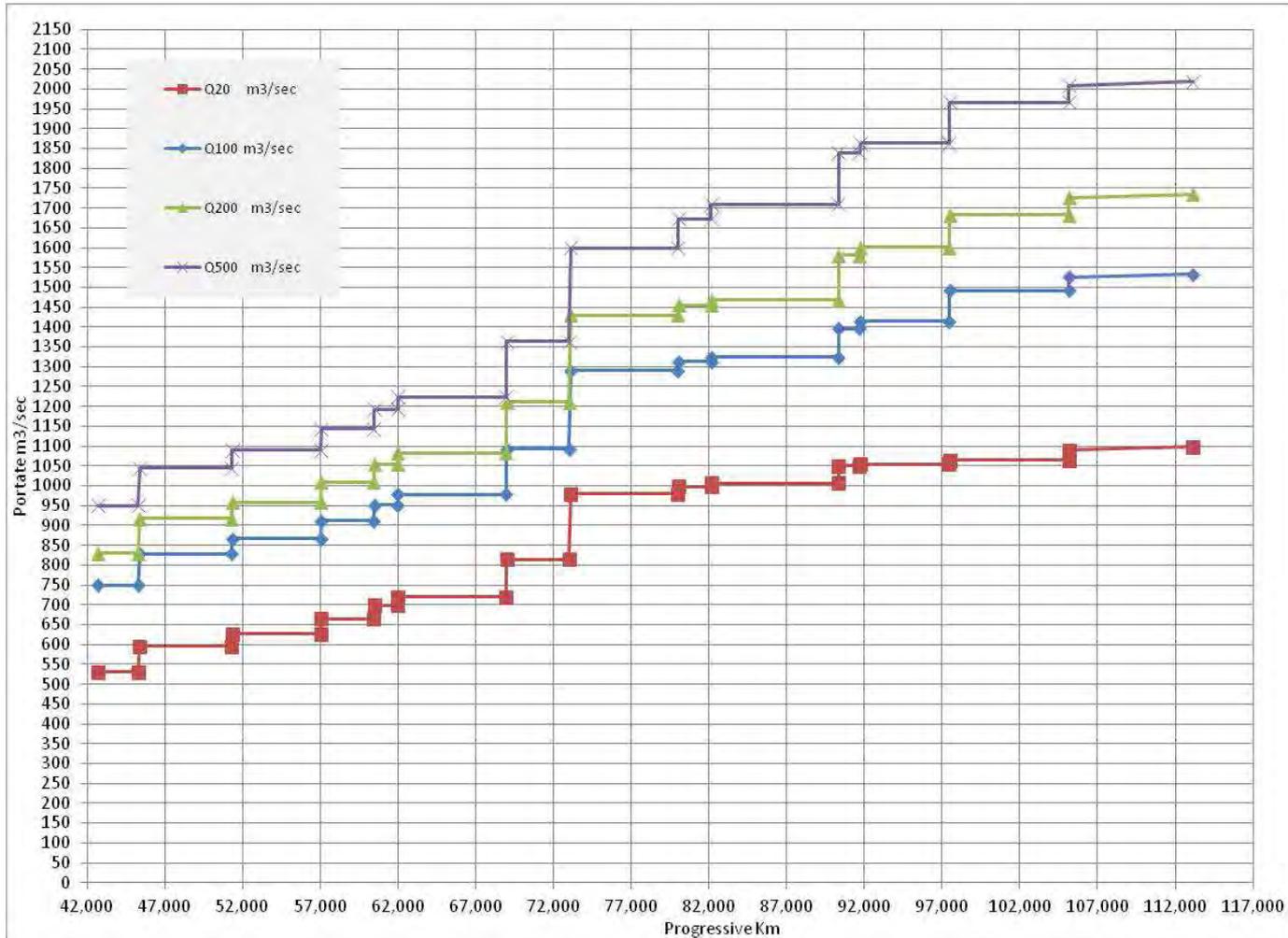
Si sottolinea che così facendo si sovrastimerebbero le portate al colmo rispetto a tutti i modelli considerati, fino circa alla media valle (Fusine-Berbenno). Le portate tendono successivamente a convergere con quelle del modello Flora verso valle fino a coincidere tra Morbegno e Delebio (sempre più a valle per tempi di ritorno superiori) per poi essere eventualmente leggermente sovrastimate rispetto allo "studio" fino allo sbocco nel Lago di Como.

E' evidente che tale scelta risulta sicuramente cautelativa ma in assenza di uno studio idrologico veramente approfondito sembra la strada ragionevolmente più praticabile.

Nel seguito viene allegata una tabella per le portate al colmo e relativo diagramma che verrà poi utilizzata per la modellazione idraulica per i vari tempi di ritorno.

TABELLA PORTATE UTILIZZATE PER MODELLO IDRAULICO

RIFERIMENTO	PROGRESSIVA	Q20	Q100	Q200	Q500
	PAI (KM)	m3/sec	m3/sec	m3/sec	m3/sec
Tirano	42+680	530,00	750,00	830,00	950,00
Monte sbocco Posch	45+300	530,00	750,00	830,00	950,00
Sbocco Posch	45+380	595,00	828,00	917,00	1045,00
Monte sbocco Belviso	51+300	595,00	828,00	917,00	1045,00
Sbocco Belviso	51+323	627,00	866,00	959,00	1090,00
Monte sbocco Malgina	57+050	627,00	866,00	959,00	1090,00
Sbocco Malgina	57+065	665,00	912,00	1009,00	1144,00
Monte sbocco Fontana	60+440	665,00	912,00	1009,00	1144,00
Sbocco Fontana	60+493	698,00	952,00	1054,00	1193,00
Monte sbocco Armisa	62+000	698,00	952,00	1054,00	1193,00
Sbocco Armisa	62+004	720,00	978,00	1083,00	1224,00
Monte sbocco Venina	68+950	720,00	978,00	1083,00	1224,00
Sbocco Venina	68+985	815,00	1092,00	1211,00	1363,00
Monte sbocco Mallero	73+000	815,00	1092,00	1211,00	1363,00
Mallero Sondrio	73+114	980,00	1290,00	1430,00	1600,00
Monte sbocco Cervio	80+000	980,00	1290,00	1430,00	1600,00
Sbocco Cervio	80+040	998,00	1313,00	1455,00	1673,00
Monte sbocco Madrasco	82+150	998,00	1313,00	1455,00	1673,00
Sbocco Madrasco	82+155	1006,00	1324,00	1468,00	1709,00
Monte sbocco Masino	90+330	1006,00	1324,00	1468,00	1709,00
Sbocco Masino	90+337	1050,00	1396,00	1581,00	1840,00
Monte sbocco Tartano	91+700	1050,00	1396,00	1581,00	1840,00
Sbocco Tartano	91+760	1055,00	1414,00	1601,00	1863,00
Monte sbocco Bitto	97+450	1055,00	1414,00	1601,00	1863,00
Sbocco Bitto	97+486	1065,00	1492,00	1683,00	1966,00
Monte sbocco Lesina	105+150	1065,00	1492,00	1683,00	1966,00
Sbocco Lesina	105+170	1090,00	1526,00	1727,00	2009,00
Fuentes	113+155	1098,00	1533,00	1735,00	2019,00

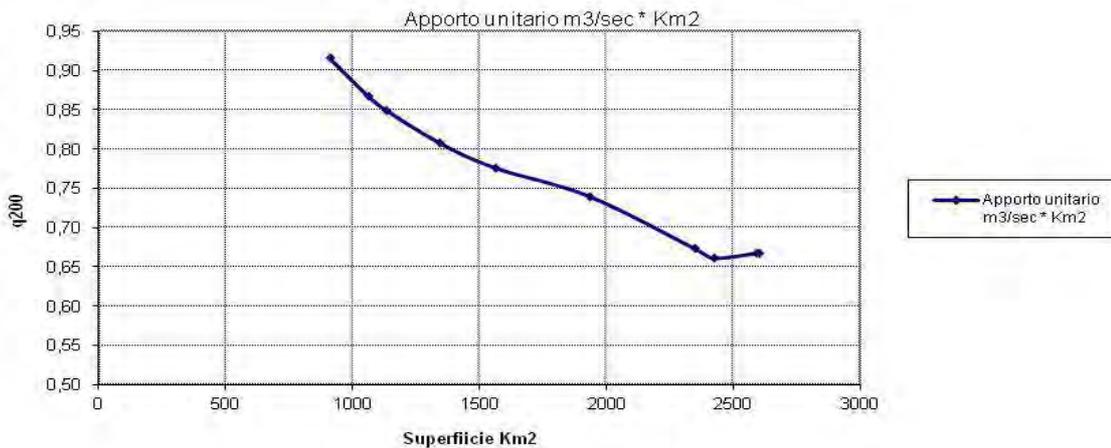
DIAGRAMMA PORTATE UTILIZZATE PER MODELLO IDRAULICO

Vengono infine allegati la tabella per il calcolo dei contributi unitari per il tempi di ritorno duecentennale e il relativo diagramma che dà sicuramente una stima dell'affidabilità del modello, non evidenziando le discontinuità rilevate nel del "Progetto Flora" (cfr. cap. 4.3).

TABELLA PORTATE UNITARIE q200 -T.r. 200 -

RIFERIMENTO	SUPERFICIE (KM ²)	Portate m3/sec	Apporto unitario m3/sec * Km2
Tirano - Monte sbocco Posch	906,00	830,00	0,92
Valle sbocco Posch	1056,00	917,00	0,87
Teglio	1128,00	959,00	0,85
Sbocco Armisa	1340,00	1083,00	0,81
Sondrio - Monte Mallero	1560,00	1211,00	0,78
Sondrio - Valle Mallero	1932,00	1430,00	0,74
Sbocco Masino	2345,00	1581,00	0,67
Morbegno - Monte Bitto	2420,00	1601,00	0,66
Sbocco Lesina	2587,00	1727,00	0,67
Fuentes	2598,00	1735,00	0,67

DIAGRAMMA APPORTO UNITARIO q200



5. IDRAULICA

5.1. GENERALITA'

Le verifiche idrauliche sono state condotte utilizzando una combinazione in sequenza di diversi software:

1. piattaforma GIS per la creazione georeferenziata del modello geometrico "grezzo";
2. HEC-GeoRAS per l'importazione automatica della geometria GIS nel codice di calcolo idraulico;
3. HEC-RAS per la correzione ed integrazione manuale della geometria proveniente dal GIS e il calcolo idraulico dei livelli idrici;
4. HEC-GeoRAS per l'esportazione dei risultati georeferenziati del calcolo idraulico e per la generazione delle mappe di esondazione in rapporto al DTM di base.

Nella piattaforma GIS sono state importate tutte le informazioni georeferenziate fornite dall'AdB (punti in corrispondenza delle sezioni PAI, sezioni del modello Real Time, asse fluviale, fasce di esondazione A, B, B di progetto e C) e per la corretta descrizione geometrica dell'alveo sono state introdotte nuove sezioni trasversali necessarie alla definizione delle 31 strutture di attraversamento, delle due traverse fluviali di Ardenno e Baghetto e di punti singolari quali anse, salti di fondo significativi, inizio e fine arginature significative.

L'applicativo HEC-GeoRAS è uno strumento specifico di ArcGIS finalizzato alla creazione di un file geometrico estrapolato dal DTM contenente i dati da importare in HEC-RAS: sezioni trasversali georeferenziate, distanze relative tra le sezioni, delimitazioni dell'alveo inciso. Le sezioni trasversali individuate planimetricamente in GIS sono quindi state importate in automatico in HEC-RAS per poi essere puntualmente corrette e integrate per definire il fondo alveo, ponti e traverse.

Attraverso l'utilizzo del codice di calcolo HEC-RAS sono stati definiti i livelli idrici per diversi tempi di ritorno ed è stata effettuata l'analisi di sensitività delle scabrezze d'alveo. La specifica funzione di esportazione dei dati verso GIS ha consentito di produrre un file di risultati completo di livelli e velocità per i diversi tempi di ritorno utilizzabile da HEC-GeoRAS.

HEC-GeoRAS processa il file di esportazione dei risultati generato da HEC-RAS in relazione al DTM di base e consente di ottenere delle mappe di esondazione e di velocità che individuano un battente e una velocità per ogni cella di definizione del DTM.

5.2. MODELLO DI CALCOLO IDRAULICO UTILIZZATO

Il modello matematico uni-dimensionale utilizzato per la valutazione delle caratteristiche che la corrente idrica assume in corrispondenza dei singoli scenari analizzati è, come detto, quello implementato nel codice di calcolo HEC-RAS (River Analysis System) sviluppato dall'United States Army Corps of Engineering (USACE), Hydrological Engineering Center (HEC). In particolare, la versione del codice utilizzata è la 4.1.0, del gennaio 2010.

Il modello descrive il moto uni-dimensionale, stazionario, di una corrente non uniforme, tale che, in ogni sezione, la distribuzione delle pressioni possa essere considerata di tipo idrostatico. Il modello è a fondo fisso e può applicarsi senza problemi con pendenze di fondo non troppo elevate (non superiori al 10%).

Il calcolo effettuato nelle suddette ipotesi risulta sicuramente cautelativo, in quanto, nella realtà, l'onda di piena si manifesta in moto vario, con la portata al colmo persistente solo per durate dell'ordine, al più, di qualche decina di minuti, in relazione alla superficie del bacino sotteso. L'adozione di tale modello è giustificata dalla possibilità di poter trascurare la variabilità di alcune grandezze fisiche sia nella direzione trasversale a quella principale di deflusso che in quella verticale.

5.2.1. Equazioni di base e schema risolutivo

Sotto le predette ipotesi, le principali caratteristiche della corrente (livello idrico e velocità media) sono state calcolate a partire da una sezione alla successiva, posta a monte o a valle a seconda che il regime sia, rispettivamente, subcritico o supercritico, risolvendo, con una procedura iterativa nota come standard step, l'equazione che esprime il bilancio di energia della corrente tra le medesime sezioni, nota anche come equazione di Bernoulli:

$$h_m + z_m + \frac{\alpha_m v_m^2}{2g} = h_v + z_v + \frac{\alpha_v v_v^2}{2g} + \Delta H$$

nella quale, avendo indicato con il pedice m le grandezze che si riferiscono alla sezione di monte e con il pedice v quelle della sezione di valle:

h_m e h_v sono le altezze idriche;

z_m e z_v sono le quote del fondo alveo rispetto ad un riferimento prefissato;

v_m e v_v sono le velocità medie;

α_m e α_v sono i coefficienti di ragguglio delle potenze cinetiche o coefficienti di Coriolis;

ΔH è la perdite tra le due sezioni.

Inoltre, in corrispondenza di particolari situazioni localizzate, per le quali il moto non può, a rigore, essere considerato gradualmente variato, come avviene in corrispondenza di ponti, tombini, stramazzi, risalti idraulici ecc., vengono utilizzate le equazioni di bilancio della quantità di moto o relazioni di tipo empirico.

L'equazione di Bernoulli esprime il ben noto principio per cui la variazione, tra due sezioni, dell'energia specifica della corrente è pari alle perdite continue, derivanti dagli attriti interni dovuti all'esistenza di strati a diversa velocità nell'interno della massa fluida, ed alle perdite localizzate, in genere dovute alla presenza di strutture in alveo che inizialmente producono un restringimento della corrente e un successivo allargamento con formazione di vortici che, come è noto, sono fenomeni dissipativi.

Le perdita di carico tra le due sezioni viene, infatti, valutata come la somma di due termini:

$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2$$

Il primo termine corrisponde alle perdite di carico distribuite, date da:

$$\Delta H_1 = \bar{J} \cdot \Delta x$$

nella quale Δx è la distanza tra le due sezioni di calcolo e \bar{J} è la cadente media dell'energia specifica nel tratto compreso tra le due sezioni, valutata, approssimativamente, mediante la relazione di Gaukler-Strickler:

$$J = \frac{Q^2}{A^2 \cdot K_s^2 \cdot R^{4/3}}$$

nella quale:

Q è la portata che defluisce nelle sezioni;

A è l'area della sezione bagnata;

K_s è il coefficiente di scabrezza secondo Gaukler e Strickler;

R è il raggio idraulico, rapporto tra l'area A e il perimetro bagnato P .

Il valore medio della cadente della linea dell'energia specifica \bar{J} può essere stimato in maniera diversa, in funzione dei valori che essa assume in ciascuna sezione e del regime della corrente; in particolare, \bar{J} può essere calcolata a mezzo di una delle seguenti relazioni:

media aritmetica:

$$\bar{J} = \frac{J_m + J_v}{2}$$

media geometrica

$$\bar{J} = \sqrt{J_m \cdot J_v}$$

media armonica

$$\bar{J} = 2 \frac{(J_m \cdot J_v)}{J_m + J_v}$$

media pesata sulla conducibilità idraulica:

$$\bar{J} = \left(\frac{Q_m + Q_v}{C_m + C_v} \right)^2$$

(in quest'ultima relazione $C_i = A_i \cdot K_{si} \cdot R_i^{2/3}$ è la conducibilità idraulica della sezione i -esima).

Il secondo termine delle perdite ΔH_2 di energia, corrispondente a perdite di carico concentrate per effetto del restringimento o per allargamento tra le sezioni, è valutato proporzionalmente alla differenza assoluta tra le altezze cinetiche:

$$\Delta H_2 = C \left| \frac{\alpha_v v_v^2}{2g} - \frac{\alpha_m v_m^2}{2g} \right|.$$

Ovviamente, nel moto uniforme, tale perdita di energia specifica risulta nulla.

Il coefficiente C viene posto pari a 0,1 per il restringimento ($v_v > v_m$) e 0,3 per l'allargamento ($v_v < v_m$).

5.2.2. Procedura di calcolo utilizzata

Come già detto in precedenza, per la determinazione delle caratteristiche idrauliche della corrente la soluzione dell'equazione è stata perseguita mediante una procedura iterativa che si articola nei seguenti punti:

- si ipotizza un valore dell'altezza idrica nella sezione in cui tale altezza è incognita (di monte o di valle a seconda che si tratti rispettivamente di una corrente subcritica o supercritica);
- sulla base del valore di altezza ipotizzato e della portata assegnata si valutano la conducibilità idraulica e l'altezza cinetica nella sezione;
- con i valori determinati ai passi precedenti si valuta la cadente piezometrica media \bar{J} e si risolve l'equazione delle perdite di energia nella variabile ΔH ;
- con i valori determinati ai passi precedenti si risolve l'equazione di Bernoulli nell'incognita altezza idrica;
- si confronta il valore così ottenuto con quello ipotizzato e si procede ripetendo i punti dall'1 al 4 fintantoché la differenza tra tali valori sia inferiore ad un prefissato valore di tolleranza.

5.2.3. Schematizzazione idraulica delle sezioni trasversali dell'alveo

Nella procedura di calcolo, per la determinazione delle caratteristiche idrauliche della corrente, è necessario determinare l'area della sezione bagnata A , il perimetro bagnato P , il raggio idraulico R e la larghezza B della sezione in corrispondenza di un determinato valore della superficie libera. Per gli alvei naturali, la cui geometria non è schematizzabile con sezioni di forma semplice (per le quali le suddette funzioni presentano, spesso, un'espressione analitica), è utilizzata la classica procedura di suddividere la sezione mediante strisce verticali, delimitate superiormente dal pelo libero (assunto costante in tutta la sezione) e inferiormente dal letto dell'alveo.

Procedendo in tal modo, indicata col pedice i la i - esima delle N sottosezioni individuate mediante la suddivisione in strisce verticali, è risultato possibile valutare: l'area idrica A_i , la larghezza in superficie B_i e le altre grandezze funzioni dell'altezza idrica h .

Per il calcolo del perimetro bagnato P_i e, conseguentemente, del raggio idraulico elementare R_i , per ciascuna sottosezione, si è tenuto in conto, ovviamente, anche la presenza di eventuali pareti verticali.

L'area idrica A , la larghezza dello specchio liquido B , il perimetro bagnato P e le altre grandezza, sono state, quindi, calcolate come:

$$A = \sum_{i=1}^N A_i \quad B = \sum_{i=1}^N B_i \quad P = \sum_{i=1}^N P_i$$

5.2.4. Cambiamenti del regime di moto della corrente

Le transizioni da un regime di movimento all'altro possono essere di sei tipi: da lenta a veloce; da veloce a lenta; da lenta a critica; da critica a lenta; da critica a veloce; da veloce a critica. Il codice di calcolo HEC-RAS procede sempre al tracciamento di due profili: uno di corrente lenta calcolato da valle verso monte, ed uno di corrente veloce calcolato da monte verso valle.

Nel tracciamento del profilo da valle, in corrispondenza di una transizione veloce/lenta, il programma di calcolo non trova soluzione all'equazione che governa il fenomeno (equazione di Bernoulli) nel campo delle correnti lente. In tal caso, esso pone il tirante idrico pari a quello di stato critico in tutte le sezioni successive nelle quali la corrente rimane veloce, per poi ripartire col tracciamento del profilo di corrente lenta dalla successiva transizione lenta/veloce.

Analogamente, nel tracciamento del profilo da monte, in corrispondenza di una transizione veloce/lenta il programma di calcolo non trova soluzione all'equazione che governa il fenomeno (equazione di Bernoulli) nel campo delle correnti veloci. Analogamente al caso precedente, anche in questo esso pone il tirante idrico pari a quello di stato critico in tutte le sezioni successive nelle quali la corrente rimane lenta, per poi ripartire col tracciamento del profilo di corrente veloce dalla successiva transizione lenta/veloce.

Dall'analisi dei due profili tracciati e dei relativi profili delle spinte totali, si può determinare l'andamento del profilo di corrente. Tale analisi risulta immediata laddove la corrente rimane lenta o veloce, e in corrispondenza delle transizioni lenta/veloce, un poco più articolata in corrispondenza delle transizioni veloce/lenta. In particolare, le transizioni da corrente lenta a veloce avvengono in maniera naturale attraverso il passaggio per lo stato critico. Le transizioni veloce/lenta avvengono, invece, attraverso la formazione di un risalto idraulico, il cui posizionamento viene effettuato dall'esame dei profili delle spinte di corrente lenta e corrente veloce. In particolare, il risalto idraulico sarà posizionato tra la sezione di monte dove la spinta di corrente veloce è maggiore di quella di corrente lenta e la sezione di valle dove la spinta di corrente lenta è maggiore di quella di corrente veloce.

5.2.5. Condizioni al contorno

La determinazione delle condizioni al contorno, cioè l'assegnazione, in una determinata sezione, di un valore noto del livello idrico da cui far procedere il calcolo dei livelli incogniti (partendo da valle se la corrente è subcritica o, viceversa, da

monte se la corrente è supercritica) risulta una dei passaggi più difficili e maggiormente affetti da incertezza nella simulazione delle correnti idriche in corsi d'acqua naturali.

Le possibili condizioni da assegnare sono, essenzialmente, tre:

- un livello idrico noto;
- il livello di moto uniforme per l'assegnata portata e pendenza di fondo nota;
- il livello di stato critico per l'assegnata portata.

La prima condizione, da preferire quando è possibile, si verifica quando il corso d'acqua in esame è collegato (a monte o a valle) ad un recipiente idrico (corso d'acqua maggiore, lago o mare) il cui livello possa considerarsi invariante nel tempo. La stessa condizione può essere applicata quando il livello da assegnare sia noto perché misurato in situ.

Quando non sia disponibile un valore noto del livello, è possibile ipotizzare l'instaurarsi delle condizioni di moto uniforme nel tratto a valle (per le correnti lente) o in quello a monte (per le correnti veloci). Tale condizione, tuttavia, potrebbe risultare affetta da errore elevato in quanto i corsi d'acqua naturali sono, per la loro intrinseca estrema variabilità, sempre molto lontani dalle condizioni ideali del moto uniforme.

Più facilmente nei corsi d'acqua naturali, si possono trovare situazioni morfologiche per le quali si stabiliscono per la corrente condizioni di deflusso in stato critico, o in altri termini costituiscono sezioni di controllo dal punto di vista idraulico.

Ciò accade, ad esempio, in corrispondenza di restringimenti dovuti ad un attraversamento, di una soglia di fondo o di un salto di fondo, ecc. Quindi le sezioni estreme dei tratti dei corsi d'acqua, sia a monte che a valle, dovrebbero essere rilevate, per quanto possibile, in corrispondenza di tali situazioni, così da facilitare l'individuazione delle condizioni al contorno da assegnare. Una strategia che può essere adottata, quando non si hanno elementi sufficienti per assegnare le condizioni al contorno con limitata incertezza è quella di prolungare il tratto in studio verso monte e verso valle, rispettivamente per correnti veloci e correnti lente. In tal modo la condizione al contorno viene assegnata lontano dal tratto di effettivo interesse. Errori di valutazione nei livelli idrici da assegnare esercitano, in questo modo, una minore influenza sui valori delle caratteristiche idrometriche nel tratto considerato.

La lunghezza di prolungamento a valle o a monte richiesta per smorzare gli effetti di variazioni sulle condizioni al contorno dipende da diversi fattori: portata, scabrezza, pendenza e geometria della sezione.

È da sottolineare che quasi mai è possibile stabilire a priori il regime con cui si svolge il moto, soprattutto in corsi d'acqua naturali, dove per la estrema irregolarità della geometria si possono verificare vari cambiamenti di regime. È necessario, quindi, assegnare sempre entrambe le condizioni al contorno, a monte e a valle, e verificare a posteriori se la condizione assegnata ha avuto o meno influenza sul profilo di corrente.

5.2.6. Modalità di risoluzione delle equazioni alla base del modello

L'equazione del bilancio dell'energia (equazione di Bernoulli) è risolta alle differenze finite. Discretizzando l'equazione, si può scrivere:

$$E_2 - E_1 = h_e$$

In cui l'energia specifica E è pari a:

$$E = z + y + \frac{\alpha \cdot v^2}{2 \cdot g}$$

essendo:

z la quota di fondo della sezione trasversale

y il tirante idrico

v la velocità media di portata

g l'accelerazione di gravità

α il coefficiente correttivo per le velocità (primo coefficiente di Criolis).

Quindi l'equazione del bilancio di energia può essere scritta nella seguente forma:

$$y_2 + z_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} = y_1 + z_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + h_e$$

nella quale h_e è la perdita totale di energia tra la sezione 1 e la sezione 2.

La seguente mostra le varie grandezze che rientrano nell'equazione del moto.

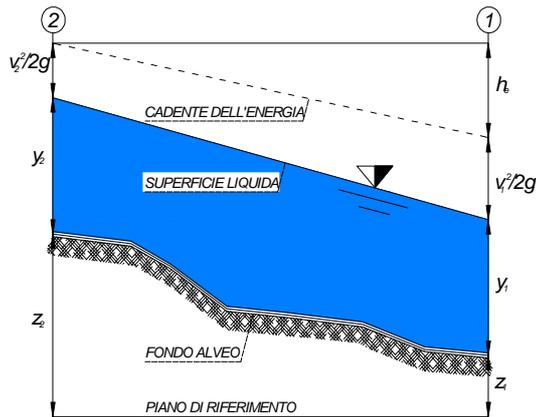
Le perdite di energia tra due sezioni trasversali si possono valutare avvalendosi della seguente equazione:

$$h_e = l \cdot J + C \cdot \left(\frac{\alpha_2 \cdot v_2^2}{2 \cdot g} - \frac{\alpha_1 \cdot v_1^2}{2 \cdot g} \right)$$

nella quale:

J rappresenta le perdite di energia continue per unità di lunghezza;

C è il coefficiente di perdita per espansione o contrazione laterale.



Schema di definizione

5.2.7. Modalità di individuazione di eventuali risalti idraulici

Il software HEC-RAS utilizza, parallelamente all'equazione di bilancio dell'energia, anche l'equazione di bilancio delle quantità di moto, scritta nella forma approssimata:

$$\sigma \cdot \xi + \frac{Q \cdot v}{g} = \text{cost}$$

nella quale σ è la sezione idraulica e ξ è l'affondamento del baricentro della sezione idrica.

Tale equazione viene utilizzata, più in particolare, in tutte quelle situazioni in cui il profilo di corrente è rapidamente variabile, come nei risalti idraulici o nelle confluenze, e, pertanto, non risulta più possibile applicare in modo affidabile il principio di conservazione dell'energia.

Il software utilizzato è capace, inoltre, di valutare gli effetti di vari ostacoli eventualmente presenti in alveo, come ponti, tombini, sottopassi, rilevati stradali o ferroviari ed altre strutture. Esso, pertanto, si presenta particolarmente utile nel caso in esame, anche in relazione alla necessità di simulare, in modo realistico, il comportamento idraulico dei numerosi ponti esistenti lungo il tratto in esame, il cui effetto viene a dipendere cospicuamente dalla geometria del ponte e dalla sua inclinazione rispetto alla corrente.

5.2.8. Caratteristiche del moto

Il numero di Froude rappresenta lo stato d'inerzia del moto della corrente in relazione al peso statico dovuto alla gravità:

$$Fr^2 = \frac{\rho \cdot L^3 \cdot a}{\rho \cdot L^3 \cdot g} = \frac{Q^2 \cdot B}{g \cdot A^3}$$

nella quale:

Q è la portata di deflusso

B è la larghezza dello specchio liquido

A è l'area liquida utile del deflusso.

Il numero di Froude definisce il limite tra moto a corrente lenta o subcritica ($Fr < 1$) e moto a corrente rapida o supercritica ($Fr > 1$).

Per una sezione di deflusso trapezia il numero di Froude è pari a:

$$Fr^2 = \frac{Q^2 [b + 2 \cdot n \cdot y]}{g [b + n \cdot y]^3 y^3}$$

nella quale:

b è la base minore della sezione trapezia;

n è l'inclinazione delle scarpate laterali;

y è il tirante idraulico.

Nel caso di sezione rettangolare il numero di Froude può essere semplificato a:

$$Fr^2 = \frac{v^2}{g \cdot y}$$

essendo v la velocità media di deflusso.

5.3. GEOMETRIA DI CALCOLO

Nel modello idraulico di moto permanente sono state inserite 244 sezioni estrapolate dal DTM.

Le sezioni sono numerate progressivamente da valle verso monte per un'estensione di circa 70 km, le peculiarità geometriche della modellazione in hec-ras sono le seguenti:

- inserimento di elementi "bridge" con descrizione del deck/roadway estrapolata dai rilievi topografici per la definizione dei ponti;

- inserimento, ove necessario, delle “ineffective flow areas” nelle sezioni immediatamente a monte e a valle del ponte per tenere in considerazione l’effetto di contrazione e espansione della vena liquida in ingresso e uscita dall’attraversamento;
- inserimento delle traverse fluviali come elementi “Inline Structure” la cui geometria deriva dagli elaborati grafici forniti dallo STER di Sondrio;
- inserimento dei punti di delimitazione dell’alveo inciso (LOB e ROB) per differenziare le scabrezze lungo la sezione;
- inserimento dei punti di delimitazione dell’esondazione “levee” nelle sezioni in cui, a seguito di simulazione, è certa la non esondabilità delle aree depresse a tergo delle delimitazioni dell’alveo inciso;
- modellazione quasi 2D (per TR200) in comune di Piateda per una tratta di circa 2.5 km mediante:
 - o alveo principale costituito dalla golena sinistra e dall’alveo inciso;
 - o sfioratore laterale sulla sponda destra dell’alveo inciso di attivazione del canale parallelo;
 - o canale parallelo costituito dalla golena destra e da tutte le strutture in essa contenute.
- modellazione quasi 2D (per TR200 e TR500) in comune di Delebio per una tratta di circa 2.5 km mediante:
 - o alveo principale costituito dalla golena destra e dall’alveo inciso;
 - o sfioratore laterale sulla sponda sinistra dell’alveo inciso di attivazione del canale parallelo;
 - o canale parallelo costituito dalla golena sinistra.

La modellazione geometrica (posizione dei levee, LOB e ROB) varia leggermente per i diversi tempi di ritorno in quanto per basse portate il deflusso avviene senza coinvolgimento delle golene mentre per portate catastrofiche, a seconda dei casi, si possono avere allagamenti generalizzati su tutta la larghezza della sezione.

L’interpolazione lineare automatica effettuata dal programma è stata utilizzata solo in tratte puntuali là dove necessario al fine di ottimizzare il numero di passi di calcolo del programma in quanto, trattandosi di alveo naturale a geometria fortemente variabile, le interpolazioni automatiche non rispettano la realtà dei luoghi.

La distanza relativa media tra le sezioni è comunque da ritenersi adeguata per la modellazione idraulica verificando la disequazione di Samuel:

$$\Delta x \leq \frac{1.5 \cdot D}{i}$$

Dove Δx è la distanza tra le sezioni, D è la lunghetta totale dell'alveo oggetto di modellazione e i è la pendenza media.

Nel presente caso per una lunghezza di 70276 m e una pendenza media dello 0.33% si ha una distanza media minima tra le sezioni di 2272 m, ampiamente verificata dalla geometria implementata.

5.4. PORTATA DI CALCOLO E SCABREZZA

La portata di calcolo e le scabrezze adottate derivano dal modello idrologico e dall'analisi morfologica dell'alveo supportata dalle analisi di sensitività effettuate, si rimanda quindi ai paragrafi specifici riportati in relazione (cfr. Cap. 4).

5.5. CONDIZIONI AL CONTORNO

La condizione al contorno di valle è tratta dai dati idrometrici forniti dal Consorzio dell'Adda:

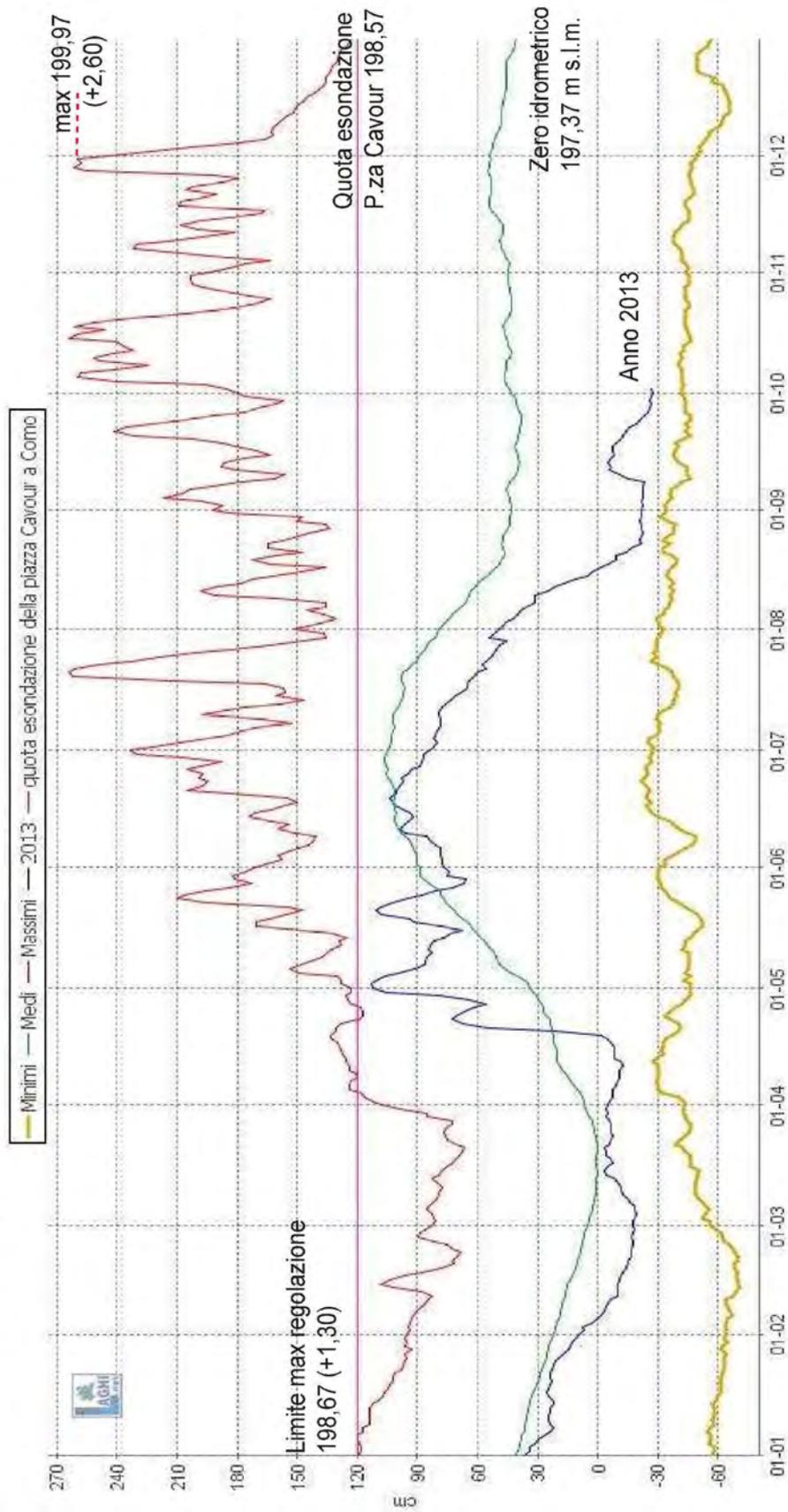
- per TR20: 198.62 mslm, quota media tra il livello di massima regolazione alla traversa di Olginate (198.67 mslm) e la quota di esondazione di piazza Cavour di Como (198.57 mslm);
- per TR200 e TR500: 199.97 mslm, quota massima storica del lago registrata a partire dal 1946 ad oggi, come si evince dal seguente diagramma.

Alla sezione di monte è stato assegnato il livello di moto uniforme per le varie portate considerate in riferimento alla pendenza di 1.4% rappresentativa della tratta in Tirano a monte del ponte dalla SS38.

Nelle modellazioni coinvolgenti canali paralleli il programma assume automaticamente le condizioni al contorno provenienti dal calcolo nelle sezioni di confluenza e in corrispondenza dell'attivazione degli sfioratori laterali.

TABELLA VALORI STORICI ALTEZZE IDROMETRICHE DEL LAGO DI COMO

Altezze idrometriche - Valori ore 8:00 (valori storici relativi al periodo 1946-2012)



5.6. RISULTATI

I risultati derivanti dall'elaborazione del modello utilizzato per i vari tempi di ritorno di riferimento sono contenuti nelle classiche tabelle di out-put che il programma fornisce (elab. N. 2), e riassumono i dati numerici dei vari parametri geometrici e idraulici caratterizzanti la sezione, descritti nel capitolo 5.1. – 5.3.

Le grandezze fisiche suddette, tramite esportazione in ambiente GIS dei risultati georeferenziati del calcolo, hanno consentito di generare i livelli massimi al colmo (DEM liquido), i profili idraulici, le mappe di esondazione e gli shapefiles relativi alle velocità ed ai tiranti idraulici per ogni cella del DTM del terreno di riferimento, che sono propedeutici alla elaborazione delle mappe di pericolosità da alluvione e del rischio associato di competenza del Politecnico di Milano.

La mappatura derivante dal modello idraulico, che evidenzia le porzioni di terreno interessate da tirante idraulico con velocità > 0 m/s (ovvero esondazioni attive con deflusso idrico) sono state integrate con i piani di rigurgito, ovvero le aree interessate da soggiacenza idrica non direttamente per esondazione da monte ma per rigurgito da valle dovuto alle quote assolute dei tiranti idrici che risalgono naturalmente occupando le zone topograficamente depresse. Tali aree, che come si vedrà per eventi importanti assumono estensione significativa, sono state evidenziate con colorazione differente dalle altre proprio per sottolineare la diversa natura fisica del fenomeno. Esse evidentemente sono caratterizzate da velocità nulla nel senso della corrente e pertanto non contribuiscono al deflusso idrico.

Si evidenzia che il modello utilizzato è monodimensionale e permanente quindi, pur avendo introdotto nel modello degli artifici per rendere più attinente alla realtà del fenomeno, ad es. canali paralleli, non considera ad esempio il contributo degli affluenti nel calcolo del rigurgito delle immissioni degli stessi né gli effetti di laminazione delle esondazioni sull'onda di piena, è comunque da considerare rappresentativo e cautelativo dei fenomeni reali assai più complessi e bidimensionali.

Tuttavia, date le finalità di inquadramento globale dei fenomeni per il quale è stato elaborato, le risultanze sono da considerarsi attendibili con un buon grado di affidabilità.

Per ottimizzare il lavoro eseguito sarebbe auspicabile avere conferma topografica della batimetria utilizzata, in parte stimata e solo in parte rilevata direttamente (ponti – alcuni tratti significativi), soprattutto in zone critiche come ad es. Mantello e Piateda.

Si sottolinea che le aree di esondazione individuate non tengono conto di alcun franco idraulico e pertanto rappresentano la mera trasposizione planimetrica dei livelli risultanti dal modello. Ai fini della sicurezza idraulica andrebbe quindi considerato l'effettivo franco da attribuire ed il ricorrente fenomeno della pensilità dei confinamenti dell'alveo di piena rispetto alle quote di campagna laterali.

Si rimarca infine come l'elaborazione non tenga conto del complesso fenomeno del trasporto solido che necessiterebbe di dati di taratura e elaborazioni a fondo mobile i cui risultati sarebbero difficilmente avvalorati da osservazioni storiche, e che comunque esulano dall'incarico affidatoci.

Nel capitolo seguente – COMMENTO DEI RISULTATI – si evidenzieranno in maniera sommaria e qualitativa, a supporto dei dati tecnici derivanti dall'elaborazione, le criticità principali del corso d'acqua e della piana interessata, quali esondazioni, rigurgiti, punti singolari (ponti, strettoie od altro), esclusivamente al fine di dare una panoramica generale degli scenari di piena per diversi tempi di ritorno.

6 – COMMENTO DEI RISULTATI

Come detto nel capitolo precedente si procede ora ad un rapido e sintetico esame e commento degli scenari di piena per diversi tempi di ritorno, descrivendo, sulla scorta dei risultati delle elaborazioni (tabulati, profili idraulici, mappe di esondazione ecc. ai quali si rimanda per le informazioni quantitative e di dettaglio), i fattori salienti che caratterizzano i vari tratti del fiume, partendo dalla città di Tirano fino allo sbocco nel Lago di Como.

Nel seguito quindi si prendono in considerazione i risultati dell'elaborazione, partendo dallo scenario corrispondente a Tr 200 anni, evidentemente il più importante e significativo che oltretutto definisce, ai sensi delle norme del P.A.I. la fascia di esondazione "B".

Seguiranno quelli per la piena catastrofica corrispondente a Tr 500 anni e quelli per la piena ordinaria, ossia per Tr 20 anni

6.1. TEMPO DI RITORNO 200 ANNI

A Tirano, nel tratto incanalato fino allo sbocco del T. Poschiavino, le caratteristiche geometriche sono tali da instaurare la corrente veloce (Froude 1,5-1,9), con valori di velocità significativi, dell'ordine dei 10 m/s fino poco a monte dell'immissione suddetta. I livelli di piena, con tiranti di circa 4,00 m, sono contenuti nelle sponde nel tratto cittadino dove la presenza dei ponti di SS. 38, Via Martiri Libertà e Via Commercio teoricamente non interferisce col pelo libero, seppur con franchi idraulici nettamente insufficienti, soprattutto per l'ultimo dei tre. E' evidente che la presenza anche di modesto trasporto solido, può provocare l'impatto della corrente con l'impalcato con comportamento idraulico completamente diverso da quello teorico analizzato; i tiranti non sarebbero compatibili con le quote di sponda e conseguente inondazione di aree densamente abitate.

A valle della sez. 331bis i livelli dell'arginatura esistente non sono sufficienti a contenere la portata, con coinvolgimento di una modesta porzione di territorio a frutteto tra l'argine e la strada provinciale Stazzona – Tirano fino a monte della loc. S. Bernardo.

La confluenza del Poschiavino, contrariamente a quanto avviene per Tr 20 anni (v. dopo), avviene senza particolari disturbi della corrente e dei livelli idrici.

A valle della stessa la pendenza è circa corrispondente a quella critica, con correnti quasi sempre veloci (Froude 1,25-0,68) fino al ponte di Stazzona. La tratta è caratterizzata da velocità attorno a 6,00 m/s, con pelo libero sempre contenuto negli argini; l'attraversamento del ponte di Stazzona avviene con altezza critica (da lenta a veloce) con interferenza solamente dovuta alle pile, con conseguente rigurgito fino alla sez. 328.

Fino a monte della passerella ciclopedonale di Tresenda (sez. 319) la corrente è lenta con velocità attorno a 3,00 m/s. I livelli idrici fino alla sez. 324 non sempre sono compatibili con le quote di campagna con esondazioni golenali sia in destra (frutteti – Canale Rossi) sia in sinistra (zone agricole e/o a boschina naturale).

Dalla sez. 319 i livelli idrici incominciano a risentire della criticità costituita dalla strettoia naturale di Tresenda e dalla presenza di tre strutture di attraversamento (oltre 1 km a valle), ossia da monte verso valle, la passerella suddetta, il ponte di Tresenda della SS. 39 per Aprica e il ponte Falck; il rigurgito comporta abbassamento della velocità e della cadente, con aumento dei tiranti e conseguente esondazioni in area golenale naturale e/o agricola in destra (con interessamento anche del campo di calcio Tresenda a monte della passerella) che in sinistra, dove vengono coinvolte anche aree parzialmente abitate (sez. 317), anche se con velocità prossime a 0 m/s. Tutte e tre le strutture sono idraulicamente poco idonee, con coinvolgimento dell'intero impalcato per il ponte della SS. 39, e franchi insufficienti per gli altri. Il passaggio sotto il ponte Falck avviene attraverso l'altezza critica e forte accelerazione con velocità a valle della struttura notevoli ($> 7,0$ m/s) e risalto idraulico. Nel tratto tra queste strutture, a valle della passerella, le sponde sono sufficientemente elevate tali da contenere i livelli di piena.

La tratta seguente fino al ponte di S. Giacomo è caratterizzata da corrente lenta, basse velocità ($\approx 3,00$ m/s) e tiranti idrici importanti e quindi quote di pelo libero tali da generare esondazioni golenali localizzate in sponda sinistra tra la sez. 315 e 314 (zona naturale ben adatta allo scopo) poi in destra tra la sez. 313 bis e 309 con esteso coinvolgimento di zona agricola.

Dalla sez. 309 – 310 inizia la strozzatura naturale della conoide del T. Malgina, con fiume incanalato tra la linea FF.SS. e la SS. 38 a destra e un'arginatura a sinistra; alla sez. 309 vi è la nuova struttura di attraversamento della pista ciclo-pedonale del "sentiero Valtellina" e nel punto più stretto (sez. 308) vi è il ponte di S. Giacomo che porta a Castello dell'Acqua e alle frazioni orobiche di Teglio.

Al ponte di S. Giacomo si ha l'altezza critica e a monte il rigurgito provocato dall'effetto congiunto struttura e strettoia naturale, si risente fino alla sez. 312, più di 1

km a monte. In sinistra si ha superamento degli argini con coinvolgimento anche di zone abitate (fino quasi sez. 310), mentre in destra, (sez. 310 – 312), l'esondazione risale a monte con superamento della SS. 38 e coinvolgimento di zona edificabile.

La passerella non viene coinvolta direttamente dalla piena se non per la presenza delle spalle e la pila in alveo.

A valle di detto ponte il fiume percorre la piana detta di Chiuro, caratterizzata da pendenza via via decrescente, con corrente lenta e velocità molto variabili a seconda delle condizioni topografiche (da 5,0 a 1,5 m/s), con pelo libero non sempre contenuto nell'alveo. In particolare in sponda sinistra si ha esondazione alla sez. 303bis – 303 e 302 - 300bis con allagamento di zone naturali a boschina fino al versante orobico, mentre in destra è contenuta dall'arginatura fino alla sez. 302, dove questa termina e la golena si espande ad occupare parte della piana agricola con altezze d'acqua anche di 2,00 m anche se con velocità basse (< 1,0 m/s), attestandosi al rilevato della ex discarica controllata. Il piano di rigurgito generato dai livelli idrici coinvolge una consistente porzione della piana agricola fino alla sez. 304 bis.

Tali esondazioni sono ulteriormente appesantite dalla presenza a valle di due strutture:

- la prima il ponte detto del Baghetto della strada per Castello dell'Acqua (sez. 300), che, data la sua geometria, crea notevole rigurgito fino alla sez. 304 bis e viene coinvolto in maniera pesante dalla piena di riferimento, con coinvolgimento dell'impalcato;
- la seconda è costituita dallo sbarramento idroelettrico del Baghetto (sez. 299) che lascia defluire le piene attraverso quattro finestre di grande ampiezza, ma tali da creare comunque notevole rigurgito a monte con peli liberi non compatibili con le arginature. Nella zona invasa dalle acque di piena, (agricola e golena naturale) sbocca anche il T. Fontana che sfocia in Adda alla sez. 300 con regime rigurgitato.

A valle dello sbarramento, fino allo sbocco del T. Armisa le pendenze restano modeste e la corrente è lenta con velocità media attorno a 3,0 m/s; le sponde non sono sempre sufficientemente elevate con esondazioni modeste sia in sponda destra che in sinistra, con coinvolgimento di aree esclusivamente agricole.

La tratta successiva fino al ponte di Boffetto è caratterizzata da un alveo inforato e stretto; pur essendo corrente lenta i valori della velocità sono notevoli (fino a 9 m/s) come notevoli sono i tiranti idrici (anche fino a 8,0 m) che comunque, date le caratteristiche geometriche delle sponde, sono contenute nell'alveo. Il ponte di Sazzo (sez. 295 bis), impostato su alte sponde rocciose, crea una sensibile strettoia con notevole

rigurgito a monte, e la corrente vi transita con forte accelerazione a valle (per un breve tratto $v \cong 10,0$ m/s).

Anche il ponte di Boffetto, di caratteristiche molto simili al precedente, ha impatto idraulico sensibile, con coinvolgimento della struttura ad arco; crea notevole rigurgito con quote del pelo libero non compatibili con le arginature in destra, e quindi con coinvolgimento di una modesta porzione dell'abitato omonimo.

Il tratto tra questo ponte ed il successivo della Streppona (sez. 290) non crea particolari problemi al deflusso; il ponte, con struttura pesante in muratura a tre arcate, impatta la piena con notevole rigurgito con interessamento di entrambe le sponde con qualche modesta esondazione in zona agricola.

Scendendo verso valle la piena è contenuta nell'alveo inciso fino alla sez. 287 bis, dove si ha esondazione in sponda destra. Da questo punto verso valle, fino allo sbocco del T. Davaglione (sez. 281) il fiume è arginato con quote di testa superiori a quelle della piena, pertanto la modesta portata che esonda a monte (circa 15 mc/s) percorre a trego degli argini la piana di Poggiridenti, fino a rientrare in Adda alla sez. 281 bis attraverso un fornice nell'argine che rappresenta lo scarico del canale di drenaggio della piana stessa (Fosso Addino). Questa sorta di ampio canale parallelo al fiume comporta l'allagamento di una consistente quota di terreni agricoli con velocità $< 1,0$ m/s, attestandosi al modesto rilevato ferroviario e addirittura superandolo (assieme alla SS. 38) alla sez. 282 e coinvolgendo una sacca depressa (interessata dalle piene storiche tra cui quella del 1960) fino le pendici delle retiche; tale area è parzialmente antropizzata. Come detto il rientro delle acque esondate avviene attraverso il fornice dello scarico del fosso Addino (toponimo che non lascia dubbi sulla sua funzione storica) le cui misure e quote sono tali da scaricare in regime rigurgitato, comportando livelli a monte significativi (anche se con velocità bassissime $< 1,00$ m/s).

In questo tratto in sponda sinistra gli argini sono sufficienti a contenere il deflusso anche se il rigurgito nel canale di scarico della centrale di Boffetto (sez. 287) può provocare qualche esondazione (meriterebbe un approfondimento).

In tutta la tratta la corrente è sempre lenta con velocità piuttosto elevate (attorno a 4,0 m/s). Il ponte di Amonini (sez. 285) il deflusso avviene con rigurgito a monte di scarsa importanza, con forte accelerazione a valle e sensibile risalto.

Il ponte di Busteggia (sez. 280) viene attraversato in corrente lenta con sensibile rigurgito che condiziona il pelo libera a monte fino alla sez. 282, con velocità di circa 4,0 m/s e tiranti importanti (circa 6,00 m).

Si entra quindi nel tratto interessante la piana di Sondrio, che termina allo sbocco del T. Mallero (sez. 270).

L'alveo è a debole pendenza fino al ponte di Albosaggia (sez. 274) che non crea ostacoli al transito della piena. Il transito delle portate di piena avviene in corrente lenta con velocità anche attorno ai 4,0 m/s e tiranti elevati (< 6,00 m) tali da comportare esondazioni in sinistra allo sbocco del T. Venina (Sez. 279 – 278) occupando una zona naturale (Riserva dei Bordighi) e porzioni della golena destra (Parco cittadino dell'Adda), sfiorando l'esondazione (franco scarso) in corrispondenza dello svincolo della tangenziale di Via Samaden (sez. 275). La passerella ciclopedonale di Faedo (sez. 279) non ha effetti idraulici negativi.

A valle del ponte di Albosaggia fino allo sbocco del T. Mallero il deflusso avviene in corrente lenta con pendenza di fondo più elevata e velocità significative (circa 5,0 m/s) con tiranti elevati; le piene sono contenute nella sponda sinistra e si attestano in destra al rilevato della tangenziale di Sondrio, lambendo alcuni fornici (attraversamento in sottopasso del sentiero Valtellina per Sondrio ovest e accesso sede ANAS) posti a quota prossima a quella della piena (franco scarso).

Da segnalare appena a valle del ponte di Albosaggia in sponda destra lo scarico del canale colatore della piana di Sondrio, posto a quota assolutamente non favorevole, che innesca il rigurgito delle acque di piena verso monte. Il tracciamento del piano di rigurgito comporta il coinvolgimento dell'intera piana di Sondrio, verso monte fino al confine col comune di Montagna in Valtellina, e verso valle con occupazione di una quota parte della piana di Via Vanoni – Gramsci per rientrare il alveo attraverso il summenzionato fornice ANAS.

In questo tratto vi è la passerella ciclopedonale di Albosaggia (sez. 271 bis) che non ha effetti idraulici negativi.

Il successivo tratto tra lo sbocco del Mallero e il ponte di Caiolo (sez. 265), che non crea ostacoli al deflusso, il fiume ha un comportamento idraulico regolare, con velocità dell'ordine dei 3,0 m/s e tiranti sempre importanti (6-7,00 m); in sponda destra si hanno modeste esondazioni a valle dell'immissione del Mallero che interessano il parco cittadino (sez. 270 – 269bis) e in sinistra tra le sez. 269bis e 266 fino oltre lo sbocco del T. Livrio in zona naturale (boschina ripariale). In sponda destra a valle della sez. 269bis la piena è sempre contenuta negli argini.

A valle del ponte di Caiolo fino all'inizio dell'influenza dell'invaso di Ardenno (sez. 249) il deflusso ha caratteristiche identiche del tratto precedente, con velocità leggermente minori (< 3,0 m/s) e tiranti sempre alti (> 6,0 m).

In questa tratta si rimarkano le seguenti singolarità:

- In sponda destra alla sez. 262 bis vi è l'immissione di un importante canale di drenaggio della piana di Castione, originariamente depresso e in buona parte ora

occupata da una zona commerciale-produttiva; il rigurgito delle quote del fiume vanno ad interessare tutta la porzione di piana non sopralzata dai rilevati su cui insistono i capannoni fino alle pendici delle Retiche;

- Sempre in destra tra le sez. 258 e 262 si ha l'interessamento di una vasta porzione di golena, in parte agricola e in parte occupata da importanti strutture connesse con la lavorazione degli inerti (vecchi silos);
- A monte della sez 254, sempre in destra si ha lo sbocco del T. Finale che sbocca in Adda in regime rigurgitato;
- In sponda sinistra l'arginatura contiene le piene fino alla sez. 258 bis, con occupazione della golena fluviale; a tale sezione l'arginatura viene sormontata dalle acque di piena fino allo sbocco del T. Cervio, con interessamento di un'ampia e bassa porzione di piana agricola. Le acque invasate risalgono per rigurgito dal canale Bachetto, importante scolo della piana omonima, fino ad interessare dapprima il campo da golf di Caiolo poi una porzione dell'area destinata ad aviosuperficie;
- A valle dello sbocco del T. Cervio la golena non è confinata da arginature, consentendo l'esondazione ed una interessante laminazione verso il versante orobico di alcune porzioni di piana: la prima tra il T. Cervio e il T. Madrasco, la seconda a valle dello stesso fino alla conoide del T. Presio e l'ultima tra detta conoide e lo sperone roccioso detto "Punta di Rodolo", dove inizia l'invaso di Adenno Sez. 249), con altezze d'acqua anche superiori ai 2,00 m;
- Alla sez. 253 bis vi è l'attraversamento della S.P. orobica (Ponte di Berbenno – Fusine - Colorina), vecchia struttura che, nonostante le numerose pile in alveo, non influisce particolarmente sul deflusso delle acque.

Tra detto sperone roccioso (Sez. 249) e lo sbarramento Enel di Ardenno (sez. 240 traversa) il fiume corre calmo incanalato in sinistra dalla sponda orobica fino alla sez. 243 poi dalle arginature artificiali dell'invaso, mentre in destra da una imponente arginatura continua, anch'essa facente parte della struttura dell'invaso. Lo sbarramento incide evidentemente sul regime del fiume a monte, influenzando con il suo rigurgito il pelo libero fino alla sez. 242. Si evidenzia che la tratta è completamente pensile sulla piana circostante di diversi metri (anche 5,00 m rispetto al pelo libero), soprattutto verso la campagna in destra detta "Piana della Selvetta", interessata dalla così detta "Via di Fuga" realizzata recentemente a seguito dell'alluvione del 1987 per consentire l'eventuale svuotamento della piana conseguente ad un evento catastrofico di rotta degli argini. Nel tratto incanalato le velocità sono variabili da circa 4,0 a 2,0 m/ ed i tiranti sono ovviamente elevati (fino a 7,0 m).

In questa tratta vi sono due ponti (Sirta alla sez. 242 e Selvetta alla 245) con modesta interferenza nel deflusso, anche se con franchi inadeguati (< 1,00 m).

Il deflusso dalla traversa avviene per stramazzo da tre grosse finestre che consentono il transito della piene di riferimento senza esondazione dalle arginature di contenimento.

A valle dello sbarramento il fiume aumenta la pendenza e la corrente, pur rimanendo lenta, aumenta via via di velocità da 3,0 fino a 5,0 m/s, con tiranti comunque sempre alti (> 5,0 m). Fino al ponte di Paniga (sez. 235) non vi sono esondazioni. Nel tratto vi sono tre ponti: il primo della SS38 (sez. 239) non crea particolari ostacoli alla corrente; il secondo della linea FF.SS. alla sez. 237, struttura in pietrame e cls ad arco, la corrente transita attraverso k critico con notevole rigurgito a monte ma senza coinvolgimento di infrastrutture; al terzo, passerella di Paniga alla sez. 235, la corrente transita veloce, anche in questo caso con notevole rigurgito a monte ma senza coinvolgimento di infrastrutture.

La tratta successiva fino al ponte di Ganda (sez. 230) interessa la piana di Talamona in sinistra e quella di Campovico in destra. L'alveo è completamente arginato e il deflusso risulta regolare fino alla sez. 232, dove si incomincia a sentire l'effetto del rigurgito provocato dalla notevole strettoia del ponte di Ganda, struttura storica ad arco, di impatto idraulico rilevante. Infatti il deflusso avviene in corrente lenta con notevole rigurgito e conseguenti basse velocità a monte (< 2,0 m/s) e tiranti notevoli (> 7,00 m); conseguentemente il pelo libero coinvolge le sponde sia in destra che in sinistra con superamento delle quote arginali. In destra le aree coinvolte interessano dapprima aree antropizzate poi un'ampia golena agricola. In sinistra le aree coinvolte hanno una minor estensione ed hanno destinazione sia edilizia che legata al tempo libero (ex colonia). In entrambi i casi la velocità è modesta (< 1,0 m/s). Appena a valle del ponte di Ganda sfocia un importante canale di scolo della piana di Talamona che convoglia verso monte le acque rigurgitate del fiume con allagamento di una porzione limitata di piana agricola.

Tra il ponte di Ganda e quello di Via Forestale (sez.228) il fiume è interamente arginato. Il deflusso è influenzato non tanto dal ponte di V. Forestale quanto dalla soglia posta a valle che, col rigurgito, innalza i peli liberi tra i due ponti, con tiranti elevati (>5,50 m) e velocità attorno a 6,0 m/s. La sponda sinistra non è sufficientemente alta e si hanno piccole esondazioni a tergo della via lungo Adda.

A valle della soglia, dove la corrente transita attraverso k critico, inizia un tratto dal regime abbastanza regolare in corrente lenta fino al ponte di Traona (sez. 222 bis), caratterizzato da velocità variabili da 3,0 a 5,0 m/s e tiranti compresi tra 5,0 e 6,0 m;

il pelo libero è sempre contenuto negli argini con coinvolgimento delle piccole golene interne. Alla sez. 227 in sinistra sbocca il T. Bitto. Il ponte di Traona alla sez. 222bis non comporta particolari perturbazioni alla corrente con rigurgito abbastanza contenuto.

Il tratto successivo tra il ponte suddetto e quello di Mantello è caratterizzato da pendenze dell'alveo ridotte e conseguenti basse velocità (anche 2,0 m/s) e livelli idrici elevati (>7,50 m), soprattutto a monte del ponte dove i livelli non sono pienamente compatibili con le quote di testa argini, sia in destra (sez. 218 ter) con esondazione ($v \approx 0,00$ m/s) nell'abitato di Mantello, che in sinistra (sez. 218), originando un alveo parallelo con portate sfiorate di poco conto (< 10 mc/s). Le aree allagate, data la conformazione topografica, si estendono assai anche se con tiranti bassi e velocità pressoché nulle. Le acque esondate raggiungono a valle i fossi di bonifica che scaricano alla sez. 214 bis, appena a monte dello sbocco del T. Lesina con piani di rigurgito che risalgono fino alla sez. 218

La presenza di arginatura anche a valle del ponte di Mantello alla sez. 216, non interrompe tale deflusso e si viene ad identificare un sorta di isola su cui insiste una importante insediamento produttivo tra la sez. 217 e 216. Come già detto lo sbocco del T. Lesina alla sez. 14 consente il rientro delle acque esondate da monte.

In sponda destra, alla sez. 218, sbocca un canale di bonifica della piana agricola tra Traona e Mantello, abbastanza depressa; il rigurgito delle quote del fiume vanno ad interessare una vasta porzione di piana fino anche alla strada provinciale Valeriana, alle pendici delle Retiche.

Il ponte di Mantello, di recente costruzione, non comporta particolari perturbazioni alla corrente ed è idraulicamente ininfluenza.

A valle dell'abitato di Mantello le caratteristiche planimetriche dell'alveo sono simili al tratto precedente fino al ponte di Dubino (sez. 213), con pendenze però più irregolari anche a causa della presenza di due soglie di fondo, alla sez. 216 e alla 215 che comunque non incidono in modo particolare sul deflusso della piena. Le sponde sono naturali praticamente senza arginature se non nel tratta appena a valle del ponte di Mantello in sponda sinistra. Le velocità sono comprese tra 2,5 e 4,0 m/s ed i tiranti sono alti (anche oltre 8,00 m) e; ciò comporta quote di pelo libero non sempre compatibili con le sponde, con conseguente esondazione in destra tra la sez. 215 e 213, che coinvolge una significativa porzione di piana agricola e si attesta sulla strada Valeriana.

Il ponte di Dubino, di recente costruzione, non comporta particolari perturbazioni alla corrente ed è idraulicamente ininfluenza.

Inizia quindi la tratta caratterizzata dai meandri, prima dell'ultimo tratto canalizzato che inizia alla sez. 208. La pendenza del fondo è quasi nulla, ed in alcuni punti il fondo è addirittura depresso (presenza di "buche" e pendenze negative). I tiranti sono notevoli, in alcuni tratti anche superiori a 10,00 m, con velocità quasi sempre inferiori a 3,0 m/s. Le sponde non hanno arginature commisurate a tali portate e quindi si hanno notevoli esondazioni sia in destra che in sinistra. Quelle in destra si attestano al rilevato della nuova tangenziale di Dubino fino alla sez. 209, invadendo un vasta piana agricola, anche se con altezza non particolarmente significative (in genere < 1,00 m). Più a valle le acque esondano per una breve porzione di piana agricola tra le sez. 208 bis e 207. Il piano di rigurgito di tale pelo libero risale fino alla strada provinciale Delebio – Dubino.

In sinistra si ha esondazione subito a valle del ponte di Dubino con coinvolgimento della piana agricola di Delebio (con altezze d'acqua localmente anche < 2,00 m) e delle pile del viadotto della nuova SS 38; l'esondazione si attesta all'argine della "Pala Marcia" dalla sez. 212 fino al rientro in Adda alla sez. 208, dove l'argine si accosta al F. Adda.

Da qui inizia l'ultima tratta canalizzata fino all'immissione nel Lago di Como. Le pendenze sono anche qui modestissime, a tratti anche negative. Il deflusso è condizionato dal livello del lago stesso. La simulazione analizzata prevede livelli elevati (massimi storici) ed il rigurgito si risente fino circa alla soglia di fondo a valle del ponte della SS 36 (Gera Lario – sez. 204 ter). Le velocità sono regolari e contenute tra 2,5 e 4,0 m/s e tiranti anche di 7,00 m. Essendo arginato in maniera significativa, le acque di piena non esondano, anche se il pelo libero risulta notevolmente pensile rispetto alla piana, peraltro invasa dai rigurgiti dei livelli del lago.

6.2. TEMPO DI RITORNO 500 ANNI

Lo scenario corrispondente a Tr 500 anni, è molto simile a quello di Tr 200, con effetti della piena logicamente più pesanti ed in alcuni punti con coinvolgimento di aree non coinvolte per Tr 200.

A Tirano i livelli di piena, con tiranti di oltre 4,00 m, sono contenuti al limite nelle sponde nel tratto cittadino dove però la presenza dei ponti di SS. 38, Via Martiri Libertà e soprattutto Via Commercio comporta rigurgiti ed innalzamenti del livello del pelo libero non compatibili. L'ultimo dei tre infatti per Tr 500 anni non ha sezioni idraulica sufficiente e la portata transita in pressione, con coinvolgimento quindi dell'implacato. Le esondazioni conseguenti comportano l'interessamento di ampie aree densamente

abitate in destra e aree agricole e marginalmente produttive in sinistra a valle della sezione 333 e si estende fino alla loc. S. Bernardo.

A valle della confluenza del Poschiavino, i livelli idrici sono tali da comportare esondazione in sinistra fino al ponte di Stazzona (sez. 329 - .326).

Anche le esondazioni prodotte dal rigurgito provocato dalla strettoia naturale di Tresenda e dalla presenza dei tre ponti, interessano una più ampia area golenale naturale e/o agricola sia in destra che in sinistra, dove vengono coinvolte anche aree parzialmente abitate (sez. 317). Tutte e tre le strutture sono idraulicamente poco idonee, con coinvolgimento dell'intero impalcato per il ponte della SS. 39, e per la passerella ciclopedonale. Nel tratto tra queste strutture le sponde sono sufficientemente elevate tali da contenere i livelli di piena.

La tratta seguente fino al ponte di S. Giacomo è caratterizzata da corrente lenta, basse velocità ($< 3,00$ m/s) e trianti idrici importanti e quindi quote di pelo libero tali da generare esondazioni golenali localizzate in sponda sinistra tra la sez. 316 e 314 (zona naturale ben adatta allo scopo). In destra dapprima si hanno limitate esondazioni tra le sez. 314 e 315 in zona golenale poi più importanti tra la sez. 313 bis e 309 con esteso coinvolgimento di zona agricola e, nella parte mediana (a valle sez. 312), con superamento della SS. 38 e coinvolgimento di zona edificabile. Il piano di rigurgito risale a monte fino alla sez. 314 con interessamento della piana agricola.

Al ponte di S. Giacomo, coinvolto fino quasi all'impalcato, si ha l'altezza critica e notevole rigurgito provocato dall'effetto congiunto struttura e strettoia naturale, si risente fino alla sez. 312 in destra e superamento degli argini in sinistra con coinvolgimento anche di zone abitate (fino quasi sez. 310). La passerella non viene coinvolta direttamente dalla piena se non per la presenza delle spalle e la pila in alveo, ma i franchi sono ridotti.

La piana detta di Chiuro, già caratterizzata da notevoli esondazioni per Tr 200, per la piena catastrofica si vede interessata per la quasi totalità. In particolare in sponda sinistra si ha esondazione quasi continua dalla sez. 306 alla 300 con allagamento di zone naturali a boschina ed agricole fino al versante orobico. In destra è contenuta dall'arginatura fino alla sez. 302, dove questa termina e la golena si espande ad occupare parte della piana agricola. Il piano di rigurgito generato dai livelli idrici della sez. 301/302 coinvolge una consistente porzione della piana agricola fino alla sez. 304 bis fino alla SS. 38.

Come detto in questo tratto la situazione idraulica è fortemente condizionata sia dal ponte del Baghetto, coinvolto pesantemente al limite del sormonto, sia dallo sbarramento idroelettrico omonimo (sez. 299) che crea un notevole rigurgito a monte con

peli liberi non compatibili con le arginature. Nella zona (agricola e golena naturale) invasa dalle acque di piena a monte, si propaga anche a valle, in zona agricola, fino alla sez. 298 sia in destra che in sinistra.

A valle dello sbarramento, fino al ponte di Boffetto pur essendo corrente lenta i valori della velocità sono notevoli (fino a 10 m/s) come notevoli sono i tiranti idrici (anche fino a 10,0 m) che comunque, date le caratteristiche geometriche delle sponde, sono contenute nell'alveo. Il ponte di Sazzo (sez. 295 bis), crea una sensibile strettoia con notevole rigurgito a monte, e la corrente vi transita con forte accelerazione a valle (per un breve tratto $v \cong 11,0$ m/s).

Il ponte di Boffetto, come per Tr 200, crea notevole rigurgito con quote del pelo libero non compatibili con le arginature in destra, e quindi con coinvolgimento di una porzione dell'abitato omonimo.

Il tratto tra questo ponte ed il successivo della Streppona (sez. 290) non crea particolari problemi al deflusso fino al ponte, che comunque crea notevole rigurgito con interessamento delle sponde sia destra che sinistra con qualche esondazione in zona agricola.

Scendendo verso valle tutta la piana di Piateda viene pesantemente coinvolta dalla piena a partire dalla sez. 288, con estesa esondazione sia in destra che in sinistra, con tiranti localmente anche significativi ($> 1,00$ m) e velocità basse ($< 1,00$ m/s). Le portate transitanti in golena rientrano in Adda alla sez. 281 in destra (come per Tr 200) e alla 281 bis in sinistra. La zona coinvolta è intensamente antropizzata.

In questa tratta la corrente è sempre lenta con velocità piuttosto elevate (attorno a 4,5 m/s). Il ponte di Amonini (sez. 285) il deflusso avviene con rigurgito a monte di scarsa importanza, con forte accelerazione a valle.

Il ponte di Busteggia (sez. 280) viene attraversato in corrente lenta con sensibile rigurgito che condiziona il pelo libera a monte fino oltre la sez. 282, con velocità di circa 4,0 m/s e tiranti importanti (circa 6,50 m).

Si entra quindi nel tratto interessante la piana di Sondrio, che termina allo sbocco del T. Mallero (sez. 270).

L'alveo è a debole pendenza fino al ponte di Albosaggia (sez. 274) che non crea ostacoli al transito della piena anche se con notevole rigurgito. Il transito delle portate di piena avviene in corrente lenta con velocità anche attorno ai 3,0 m/s e tiranti elevati ($< 7,00$ m) tali da comportare esondazioni in tutta la Riserva dei Bordighi e quasi tutta la golena destra (Parco cittadino dell'Adda), al limite dell'esondazione (franco nullo) in

corrispondenza dello svincolo della tangenziale di Via Samaden (sez. 275). La passerella ciclopedonale di Faedo (sez. 279) non ha effetti idraulici negativi.

A valle del ponte di Albosaggia fino allo sbocco del T. Mallero il deflusso avviene in corrente lenta con pendenza di fondo più elevata e velocità significative (anche 6,0 m/s) con tiranti elevati; le piene sono contenute nella sponda sinistra e si attestano in destra al rilevato della tangenziale di Sondrio, lambendo alcuni fornici (attraversamento in sottopasso del sentiero Valtellina per Sondrio ovest e accesso sede ANAS) posti a quota circa coincidente con quella della piena (franco praticamente nullo). Lo scarico del canale colatore, che come già detto, innesca il rigurgito delle acque di piena verso monte già per piene ordinarie, comporta il coinvolgimento dell'intera piana di Sondrio, verso monte fino al confine col comune di Montagna in Valtellina e fino al cimitero con sormonto della linea ff.ss. e della SS. 38, e verso valle con occupazione di una quota parte della piana di Via Vanoni – Gramsci per rientrare il alveo attraverso il summenzionato fornice ANAS e lo sbocco del T. Mallero.

In questo tratto vi è la passerella ciclopedonale di Albosaggia (sez. 271 bis) che non ha effetti idraulici negativi.

Il successivo tratto tra lo sbocco del Mallero e il ponte di Caiolo (sez. 265), che non crea ostacoli al deflusso, il fiume ha un comportamento idraulico regolare, con velocità dell'ordine dei 3,0-4,00 m/s e tiranti sempre importanti (fino 7,50 m); in sponda destra si hanno esondazioni a valle dell'immissione del Mallero che interessano il parco cittadino (sez. 270 – 269bis) e in sinistra in tutta la piana (boschina ripariale e zona agricola) fino al ponte suddetto. In sponda destra a valle della sez. 269bis la piena è sempre contenuta negli argini.

A valle del ponte di Caiolo fino all'inizio dell'influenza dell'invaso di Ardenno (sez. 249) il deflusso ha caratteristiche identiche del tratto precedente, con velocità leggermente minori (< 3,0 m/s) e tiranti sempre alti (> 7,0 m).

Le esondazioni sono continue, sia in destra che in sinistra.

In particolare si rimarca:

- In sponda destra a monte della sez. 262 si ha il rigurgito delle quote del fiume che vanno ad interessare tutta la porzione di piana non sovralzata dai rilevati su cui insistono i capannoni fino alle pendici delle Retiche;
- Sempre in destra tra le sez. 262 e 253 (ponte di Fusine) si ha l'interessamento di tutta la golena fino quasi alla linea FF.SS e a valle del ponte fino all'inizio dell'invaso (sez. 252) attestandosi all'argine;

- A monte della sez. 254, sempre in destra si ha lo sbocco del T. Finale che sbocca in Adda in regime rigurgitato;
- In sponda sinistra l'arginatura contiene le piene fino alla sez. 259, con occupazione della golena fluviale; a tale sezione l'arginatura viene sormontata dalle acque di piena fino allo sbocco del T. Cervio, con pesante interessamento della piana agricola. Le acque invasate risalgono per rigurgito dal canale Bachetto, importante scolo della piana omonima, fino ad interessare dapprima il campo da golf di Caiolo poi una porzione dell'area destinata ad aviosuperficie;
- A valle dello sbocco del T. Cervio si ha esondazione fino al versante orobico delle piane tra il T. Cervio e il T. Madrasco, a valle dello stesso fino alla conoide del T. Presio e tra detta conoide e lo sperone roccioso detto "Punta di Rodolo", dove inizia l'invaso di Adenno (Sez. 249), come già per Tr 200 anni;
- Alla sez. 253 bis vi è il ponte di Berbenno – Fusine - Colorina che, nonostante le numerose pile in alveo, non influisce particolarmente sul deflusso delle acque.

Nel tratto dell'invaso di Ardenno non si hanno esondazioni e le velocità sono variabili da circa 4,0 a 2,0 m/s a monte della traversa ed i tiranti sono ovviamente elevati (fino a 8,0 m). Si evidenzia, a maggior ragione che per tempi di ritorno minori, la pensilità del pelo libero rispetto alla piana circostante.

I due ponti (Sirta alla sez. 242 e Selvetta alla 245) creano modesta interferenza nel deflusso, anche se con franchi inadeguati (< 1,00 m).

Il deflusso dalla traversa avviene per stramazzo da tre grosse finestre che consentono il transito della piene di riferimento, al limite dell'esondazione dalle arginature di contenimento.

A valle dello sbarramento fino al ponte di Paniga (sez. 235) il fiume aumenta la pendenza e la corrente, pur rimanendo lenta, aumenta via via di velocità da 3,5 fino a 7,0 m/s, con tiranti comunque sempre alti (> 6,0 m), con completa occupazione delle modeste golene. Nel tratto vi sono tre ponti: il primo della SS38 (sez. 239) non crea particolari ostacoli alla corrente; il secondo della linea FF.SS. alla sez. 237, la corrente transita in corrente veloce con notevole rigurgito a monte ma senza coinvolgimento di infrastrutture, come pure il terzo, passerella di Paniga alla sez. 235.

La tratta successiva fino al ponte di Ganda (sez. 230) interessa la piana di Talamona in sinistra e quella di Campovico in destra. Il deflusso avviene in corrente lenta con tiranti a monte notevoli (> 8,00 m).

Le esondazioni già presenti per Tr 200, per effetto del rigurgito provocato dalla notevole strettoia del ponte di Ganda, si estendono in destra fino alla sez. 232 bis e in

sinistra fino alla periferia dell'abitato di Morbegno. Appena a valle del ponte di Ganda sfocia il canale di scolo della piana di Talamona convogliata verso monte le acque rigurgitate del fiume con allagamento di una porzione limitata di piana agricola e lambisce la zona industriale.

Tra il ponte di Ganda e quello di Via Forestale (sez.228) il fiume, influenzato dalla soglia posta a valle di quest'ultimo, con tiranti elevati ($\approx 6,00$ m) e velocità $> 7,0$ m/s, esonda in sinistra a tergo della via lungo Adda.

In tratta a valle della soglia, in corrente lenta fino al ponte di Traona (sez. 222 bis), è caratterizzato da velocità variabili da 3,5 a 5,0 m/s e tiranti compresi tra 6,0 e 7,0 m; il pelo libero è sempre contenuto negli argini con coinvolgimento delle piccole gole.

Il tratto successivo tra il ponte suddetto e quello di Mantello è caratterizzato da pendenze dell'alveo ridotte e conseguenti contenute velocità (anche $< 2,5$ m/s) e livelli idrici elevati ($> 8,00$ m), soprattutto a monte del ponte (sez. 218 ter) dove i livelli non sono pienamente compatibili con le quote di testa argini, sia in destra con esondazione ($v \approx 0,00$ m/s) nell'abitato di Mantello, che in sinistra, originando un'esondazione con portate sfiorate significative (< 120 mc/s), con rientro allo sbocco del T. Lesina (sez. 214 bis). Le aree allagate sono molto estese anche se con tiranti $< 3,00$ m e velocità inferiori a 1,0 m/s. Le acque esondate raggiungono a valle i fossi di bonifica che scaricano alla sez. 214 bis, appena a monte dello sbocco del T. Lesina con piani di rigurgito che risalgono fino alla sez. 219

In sponda destra, alla sez. 218, il rigurgito del canale di bonifica va ad interessare una vasta porzione di piana fino anche alla strada provinciale Valeriana, alle pendici delle Retiche.

Il ponte di Mantello, di recente costruzione, non comporta particolari perturbazioni alla corrente ed è idraulicamente ininfluenza.

A valle dell'abitato di Mantello fino al ponte di Dubino (sez. 213) il deflusso è caratterizzato da velocità dai 2,5 a 5,0 m/s e tiranti alti (anche oltre 8,00 m); ciò comporta quote elevate ed estesa esondazione in destra che coinvolge quasi tutta la piana agricola e si attesta sulla strada Valeriana, con tiranti e velocità modeste.

Il ponte di Dubino, di recente costruzione è idraulicamente quasi ininfluenza.

La successiva tratta dei meandri, prima dell'ultimo tratto canalizzato che inizia alla sez. 208 ha tiranti notevoli, in alcuni tratti anche superiori a 11,00 m, con velocità quasi sempre inferiori a 3,0 m/s. Si hanno notevoli esondazioni sia in destra che in sinistra. Quelle in destra invadono tutta la piana attestandosi al rilevato della nuova

tangenziale di Dubino con altezze non particolarmente significative (in genere < 2,00 m). Più a valle le acque esondano per una breve porzione di piana agricola tra le sez. 208 bis e 207, attestandosi all'arginatura esistente.

In sinistra le esondazioni coinvolgono, subito da valle del ponte di Dubino, la piana di Delebio fino alla periferia del paese, compreso le pile del viadotto della nuova SS 38, attestandosi all'argine della "Pala Marcia" dal suo inizio (sez. 212) fino al rientro in Adda alla sez. 208, dove l'argine si accosta al F. Adda. Anche qui sia le altezze che le velocità sono limitate.

L'ultima tratta, canalizzata fino all'immissione nel Lago di Como, è condizionata dal livello del lago stesso. La simulazione analizzata prevede livelli elevati (massimi storici) ed il rigurgito si risente fino circa alla soglia di fondo a valle del ponte della SS 36 (Gera Lario – sez. 204 ter). Le velocità sono regolari e contenute tra 3,0 e 4,0 m/s e tiranti anche di 7,50 m. Le acque di piena non esondano, anche se il pelo libero risulta notevolmente pensile rispetto alla piana, peraltro invasa dai rigurgiti dei livelli del lago.

6.3. TEMPO DI RITORNO 20 ANNI

A Tirano, nel tratto incanalato fino allo sbocco del T. Poschiavino, le caratteristiche geometriche sono tali da instaurare la corrente veloce (Froude 1,5-1,9), con valori di velocità significativi, dell'ordine dei 9,0 m/s fino poco a monte dell'immissione suddetta. I livelli di piena, con tiranti attorno ai 3,0 m sono contenuti nelle sponde nel tratto cittadino dove la presenza dei ponti di SS. 38, Via Martiri Libertà e Via Commercio non costituisce ostacolo idraulico rilevante.

La confluenza del Poschiavino avviene con notevole innalzamento dei tiranti (oltre 3,5 m) con conseguente esondazione in sinistra tra la sez 331 bis e 330, con coinvolgimento di una modesta porzione di territorio a frutteto tra l'argine e la strada provinciale Stazzona – Tirano.

A valle della stessa la pendenza è circa corrispondente a quella critica, con correnti quasi sempre veloci (Froude 1,25-0,68) fino al ponte di Stazzona. La tratta è caratterizzata da velocità attorno a 3,00 m/s, con pelo libero sempre contenuto negli argini; l'attraversamento del ponte di Stazzona avviene con altezza critica (da lenta a veloce) con interferenza solamente dovuta alle pile, senza rigurgito significativo.

Fino a monte della passerella ciclopedonale di Tresenda (sez. 319) la corrente è lenta con velocità inferiori a 3,00 m/s. I livelli idrici sono sempre compatibili con le quote di campagna con esondazioni golenali fino alla riva incisa.

Dalla sez. 319 i livelli idrici incominciano a risentire della criticità costituita dalla strettoia naturale di Tresenda e dalla presenza di tre ponti; il rigurgito comporta abbassamento della velocità e della cadente, senza comunque significative esondazioni, limitate all'area golenale naturale in sinistra (sez. 318 – 318bis).

Tutte e tre le strutture sono idraulicamente idonee alle portate di riferimento anche se con franchi non del tutto sufficienti per il ponte SS. 39. Il passaggio sotto il ponte Falck avviene attraverso l'altezza critica e forte accelerazione con velocità a valle della struttura notevoli (quasi 7,0 m/s) e risalto idraulico. Nel tratto tra queste strutture le sponde sono sufficientemente elevate tali da contenere i livelli di piena.

La tratta seguente fino al ponte di S. Giacomo è caratterizzata da corrente lenta, basse velocità (< 3,00 m/s) e tiranti idrici inferiori a 5,00 m. Le quote di pelo libero sono quasi sempre contenute nella sponda incisa tranne modeste esondazioni golenali localizzate in sponda sinistra tra la sez. 315 e 314 (zona naturale ben adatta allo scopo) poi in destra a monte della sez. 309 con coinvolgimento di zona ripariale e agricola con rigurgito dai canali di bonifica fino alla sez. 311, anche se con altezze basse, sempre comunque contenute nel rilevato ferroviario senza superamento della SS. 38.

La strozzatura naturale della conoide del T. Malgina, viene superata senza esondazione con velocità elevate (fino 6,0 m/s).

Al ponte di S. Giacomo si ha l'altezza critica e a monte il rigurgito provocato dall'effetto congiunto struttura e strettoia naturale, si risente fino alla sez. 311. La passerella non viene coinvolta direttamente dalla piena se non per la presenza delle spalle e la pila in alveo.

La piana detta di Chiuro viene attraversata con corrente lenta e velocità molto variabili a seconda delle condizioni topografiche (da 4,0 a 1,0 m/s), con pelo libero non sempre contenuto nell'alveo. In particolare in sponda sinistra si hanno modeste esondazioni in golena alla sez. 301 e alla sez. 303 – 304bis con allagamento di zone naturali a boschina, mentre in destra è contenuta dall'arginatura fino alla sez. 301/302, dove questa termina e la golena si espande ad occupare parte della piana agricola. Il piano di rigurgito generato dai livelli idrici coinvolge una consistente porzione della piana agricola fino alla sez. 302.

Tali esondazioni sono ulteriormente appesantite dalla presenza a valle del ponte del Baghetto e dallo sbarramento idroelettrico omonimo (sez. 299): in particolare il transito delle piene attraverso le finestre dello sbarramento che, pur creando livelli di pelo libero compatibili a monte, a valle non trovano confinamento e quindi esondano a valle sia in sponda destra che in sinistra fino alla sez. 298bis.

Nella zona invasa dalle acque di piena, (agricola e golena naturale) sbocca anche il T. Fontana che sfocia in Adda alla sez. 300 con regime rigurgitato.

La tratta successiva fino al ponte di Boffetto è caratterizzata da corrente lenta con valori della velocità notevoli (fino a 7 m/s) come notevoli sono i tiranti idrici (anche fino a 8,0 m) che comunque sono contenute nell'alveo. Il ponte di Sazzo (sez. 295 bis) crea una sensibile strettoia con notevole rigurgito a monte, e la corrente vi transita attraverso k critica con forte accelerazione a valle.

Il ponte di Boffetto, anche per questo scenario di piena ordinaria, ha impatto idraulico sensibile, con coinvolgimento della struttura ad arco; crea notevole rigurgito con quote del pelo libero non compatibili con le arginature in destra, e quindi con coinvolgimento di una modesta porzione dell'abitato omonimo.

Fino al ponte della Streppona (sez. 290) non si hanno particolari problemi al deflusso; il ponte, con struttura pesante in muratura a tre arcate, impatta la piena con limitato rigurgito con interessamento della sola sponda destra con qualche modestissima esondazione in zona agricola.

Scendendo verso valle la piena è contenuta nell'alveo inciso fino al ponte di Bugsteggia (sez. 280) dove transita in corrente lenta con modesto rigurgito che condiziona il pelo libera a monte fino alla sez. 282, con velocità di circa 3,0 m/s e tiranti importanti (circa 5,00 m).

In tutta la tratta la corrente è sempre lenta con velocità piuttosto elevate (attorno a 4,0 m/s). Il ponte di Amonini (sez. 285) il deflusso avviene con rigurgito a monte di scarsa importanza, con forte accelerazione a valle e sensibile risalito.

Si entra quindi nel tratto interessante la piana di Sondrio, che termina allo sbocco del T. Mallero (sez. 270).

L'alveo è a debole pendenza fino al ponte di Albosaggia (sez. 274) che non crea ostacoli al transito della piena. Il transito delle portate di piena avviene in corrente lenta con velocità fino a 4,0 m/s e tiranti piuttosto elevati (< 5,00 m) tali da comportare esondazioni in sinistra alla sez. 278 occupando limitatamente una zona naturale (Riserva dei Bordighi) e porzioni della golena destra (Parco cittadino dell'Adda) con altezze comunque inferiori a 1,0 m. La passerella ciclopedonale di Faedo (sez. 279) non ha effetti idraulici negativi.

A valle del ponte di Albosaggia fino allo sbocco del T. Mallero il deflusso avviene in corrente lenta con pendenza di fondo più elevata e velocità significative (quasi 5,0 m/s) con tiranti elevati; le piene sono contenute nella sponda sinistra e si attestano in destra al rilevato della tangenziale di Sondrio. Appena a valle del ponte di Albosaggia

in sponda destra lo scarico del canale colatore della piana di Sondrio, anche per piene ordinarie, innesca il rigurgito delle acque di piena verso monte. Il tracciamento del piano di rigurgito comporta il coinvolgimento buona parte della piana di Sondrio verso monte (oltre la Via Vanoni) fino alla zona artigianale.

In questo tratto vi è la passerella ciclopedonale di Albosaggia (sez. 271 bis) che non ha effetti idraulici negativi.

Il successivo tratto tra lo sbocco del Mallero e il ponte di Caiolo (sez. 265), che non crea ostacoli al deflusso, il fiume ha una comportamento idraulico regolare, con velocità dell'ordine dei 3,0 m/s e tiranti sempre importanti (5-6,00 m), tali da comportare modeste esondazioni che interessano in sinistra una parte della boschina ripariale alla sez. e 268, mentre in sponda destra la piena è sempre contenuta negli argini.

A valle del ponte di Caiolo il fino all'inizio dell'influenza dell'invaso di Ardenno (sez. 249) il deflusso ha caratteristiche identiche del tratto precedente, con velocità leggermente minori (< 3,0 m/s) e tiranti sempre alti (> 5,0 m).

In questa tratta in sponda destra tra le sez. 258 e 260 si ha l'interessamento di una piccola porzione di golena, attualmente occupata da importanti strutture connesse con la lavorazione degli inerti (vecchi silos).

In sponda sinistra l'arginatura contiene li livelli idrici con coinvolgimento di una golena fluviale alla sez. 258 bis. Più a valle, a monte dello sbocco del T. Cervio, i livelli idrici risalgono per rigurgito dal canale Bachetto, importante scolo della piana agricola omonima, fino ad interessare dapprima una porzione della piana stessa, poi il campo da golf di Caiolo per poi smorzarsi alla sez. 258 bis.

Anche a monte del ponte di Fusine, alla sez. 254, sfocia uno scolo della piana agricola; i livelli idrici in Adda risalgono per rigurgito fino ad interessare una porzione della piana stessa fino alla sez. 256.

A valle dello sbocco del T. Madrasco fino alla conoide del T. Presio e poi tra detta conoide e lo sperone roccioso detto "Punta di Rodolo", dove inizia l'invaso di Adenno (Sez. 249), si ha il superamento delle sponde con invasione di una notevole superficie di piana agricola, per esondazione diretta dalla sez. 250bis alla 249, e per rigurgito fino alla conoide del T. Madrasco.

Fino allo sbarramento Enel di Ardenno (sez. 240 traversa) come detto il fiume corre incanalato e pesantemente arginato; le velocità sono via via decrescenti da circa 3,0 a 2,0 m/s a monte della traversa ed i tiranti sono ovviamente elevati (fino a 6,0 m), comunque sempre compatibili con la sommità arginale. I ponti di Sirta e Selvetta non hanno influenza negativa sul regime idraulico.

Il deflusso dalla traversa avviene per stramazzo da tre grosse finestre che consentono il transito della piene di riferimento senza esondazione dalle arginature di contenimento.

A valle dello sbarramento fino a monte del ponte di Ganda la piena di riferimento transita senza particolari problemi. Le velocità sono variabili a seconda delle condizioni topografiche, variabili da 4,0 m/s fino a meno di 2,0 m/s nella tratta terminale, dove si risente della strettoia del ponte di Ganda. I tiranti sono generalmente inferiori a 4,0 m e i peli liberi contenuti nella sommità degli argini.

Nel tratto vi sono tre ponti: il primo della SS38 (sez. 239) non crea particolari ostacoli alla corrente; il secondo della linea FF.SS. alla sez. 237, struttura in pietrame e cls ad arco, la corrente transita attraverso k critico con rigurgito a monte ma senza coinvolgimento di infrastrutture, come pure al terzo, passerella di Paniga alla sez. 235.

Il ponte di Ganda (sez. 230) ha impatto idraulico rilevante anche per piene ordinarie. Infatti il deflusso avviene in corrente lenta con tiranti a monte notevoli ($\approx 6,00$ m) e notevole rigurgito che interessa la golena nella piana della Bosca fino alla sez. 231 bis, senza comunque esondazione dagli argini.

Tra il ponte di Ganda e quello di V. Forestale (sez.228) il fiume è interamente arginato. Il deflusso è influenzato non tanto dal ponte di V. Forestale quanto dalla soglia posta a valle che, col rigurgito, innalza i peli liberi tra i due ponti, con tiranti elevati ($>6,00$ m) ma contenuti negli argini, e velocità attorno a 4,0 m/s.

A valle del ponte di Via Forestale la piena in oggetto transita fino a lago senza esondazioni e le strutture di attraversamento incontrate non esercitano effetti idraulici negativi.

In particolare fino al ponte di Traona si hanno velocità comprese tra 3,0 e 4,5 m/s e tiranti attorno ai 4,0 m senza esondazione dalle sponde incise né tantomeno dagli argini.

Tra il ponte suddetto e quello di Mantello le velocità sono decisamente basse ($<3,0$ m/s) ed i tiranti aumentano verso valle fino ad arrivare anche oltre 6,00 m, con occupazione di modeste golene fluviali, ma senza oltrepassare la sommità arginale.

Neppure tra il ponte di Mantello e quello di Dubino si hanno esondazioni: le velocità sono modeste come pure i tiranti..

Inizia quindi la tratta caratterizzata dai meandri, prima dell'ultimo tratto canalizzato, che inizia alla sez. 208. La pendenza del fondo è quasi nulla, ed in alcuni punti il fondo è addirittura depresso (presenza di "buche" e pendenze negative). I tiranti sono

notevoli, in alcuni tratti anche attorno a 10,00 m, con velocità quasi sempre inferiori a 3,0 m/s. Le sponde, pur non avendo arginature, sono alte al punto da non comportare esondazioni nè in destra nè in sinistra.

L'ultima tratta canalizzata fino all'immissione nel Lago di Como ha anch'essa pendenze modestissime, a tratti anche negative. Il deflusso è condizionato dal livello del lago stesso. La simulazione analizzata prevede livelli elevati commisurati al Tr esaminato ed il rigurgito si risente fino circa alla soglia di fondo a valle del ponte della SS 36 (Gera Lario – sez. 204 ter). Le velocità sono regolari e contenute tra 2,5 e 3,5 m/s e tiranti anche di 6,00 m. Essendo arginato in maniera significativa, le acque di piena non esondano, anche se il pelo libero risulta pensile rispetto alla piana.

7 – ELENCO ELABORATI

Il presente studio è composta da elaborati cartacei, cui verranno allegati i files in .pdf degli stessi più tutti quelli raster e gli shapefiles relativi alle velocità ed ai tiranti idraulici per ogni cella del DTM del terreno di riferimento.

A titolo esemplificativo viene allegata la rappresentazione grafica delle velocità per la modellazione relativa a tempo di ritorno bicentenario.

Le mappe di esondazione rappresentano graficamente anche i tiranti idraulici.

Gli elaborati cartacei sono i seguenti:

1. RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA
2. TABULATI OUT-PUT DI HEC-RAS
 - 2.1 Tempo di ritorno 20 anni
 - 2.2 Tempo di ritorno 200 anni
 - 2.3 Tempo di ritorno 500 anni
- 3 PROFILI IDRAULICI LONGITUDINALI
 - 3.1 Tempo di ritorno 20 anni
 - 3.2 Tempo di ritorno 200 anni
 - 3.3 Tempo di ritorno 500 anni
- 4 SEZIONI TRASVERSALI
 - 4.1 Tempo di ritorno 20 anni
 - 4.2 Tempo di ritorno 200 anni
 - 4.3 Tempo di ritorno 500 anni
- 5 MAPPE DI ESONDAZIONE CON TIRANTI
 - 5.1 Tempo di ritorno 20 anni
 - 5.2 Tempo di ritorno 200 anni
 - 5.3 Tempo di ritorno 500 anni
- 6 RAPPRESENTAZIONE GRAFICA VELOCITA' PER Tr 200