

1. PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto l'inquadramento idraulico delle aree interessate dal progetto definitivo dalla tratta italiana nuova linea ferroviaria ad alta capacità di collegamento Torino-Lione mediante la realizzazione di un modello bidimensionale di moto vario come verrà illustrato nel seguito.

2. IDROLOGIA DELL'AREA IN ESAME

Il presente documento ha per oggetto lo studio idrologico ed idraulico della porzione del bacino della Dora Riparia interessato dal progetto della nuova linea ferroviaria. Una estesa analisi idrologica delle aree interessate è stata svolta nell'elaborato PD2_C3A_0045_22-01-02_10-01_Relazione generale idrologica. Nel presente paragrafo, saranno accuratamente approfonditi gli aspetti idrologici connessi con lo studio del moto vario bidimensionale; pertanto si riprenderanno i valori di massima portata al colmo per il T. Dora Riparia indicati in tale documento; inoltre, ad integrazione e dettaglio del documento citato, vi è necessità di definire, per lo studio del moto vario, non solo i valori di portata al colmo ma anche un idrogramma significativo che consenta di studiare gli effetti dell'opera sull'idrogramma stesso.

Per quanto concerne i valori di portata al colmo, le portate di massima piena determinate dall'Autorità di Bacino sono, per la Dora Riparia nella piana di Susa, le seguenti:

Tempo di ritorno (Anni)	Portata di massima Piena (m³/s) (sezione a monte Cenischia)	Portata di massima Piena (m³/s) (sezione a valle Cenischia)
20	230 (**)	260(**)
50	-	360 (***)
200	530(*)	580(*)
500	720(**)	800(**)

(*)fonte: Relazione tecnica allegata alla deliberazione n°9 /2007 del comitato istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po

(**)fonte: studio di fattibilità della sistemazione idraulica nel tratto da Oulx alla confluenza in Po (Autorità di Bacino 2003).

(***)stima per interpolazione logaritmica basata sui valori di portata noti agli altri tempi di ritorno

La successiva analisi in moto vario ha per obiettivo la definizione di un idrogramma in ingresso al tratto in studio.

L'Autorità di Bacino del fiume Po nell'ambito della sua attività e competenza ha definito i valori di colmo citati in precedenza basandosi su analisi idrologiche complesse che comportano la definizione di idrogrammi di massima piena per la Dora Riparia in corrispondenza di vari punti significativi. Pertanto si sono acquisiti dall'Autorità di Bacino i suddetti idrogrammi disponibili.

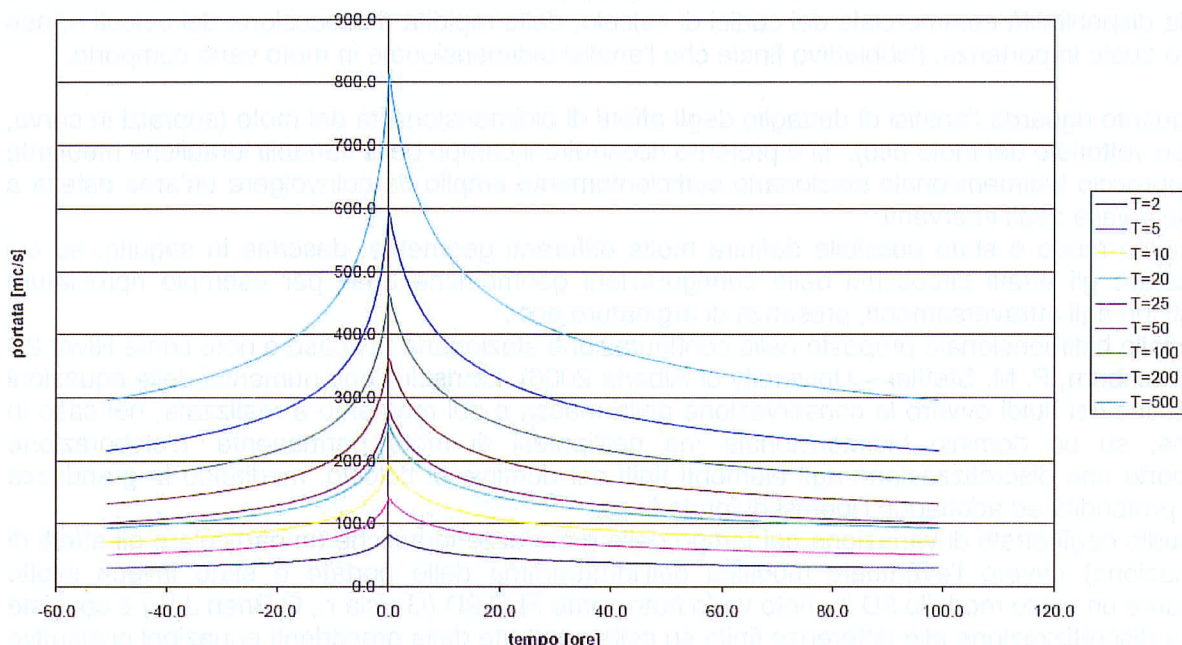
In particolare nell'ambito dello "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del Fiume Dora Riparia nel tratto da Oulx alla confluenza in Po" redatto dalla stessa Autorità di Bacino sono stati definiti alcuni elaborati di riferimento di interesse:

- L'attività 3.2.1:"DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI PIENA DI RIFERIMENTO" fornisce un idrogramma sintetico alla sezione di Susa a valle Cenischia (colmo per tempo di ritorno 500 anni 811 mc/s).
- La valutazione delle effetto di laminazione e' stato svolto nella L'ATTIVITA' 3.2.2. RELAZIONE METODOLOGICA E DI ANALISI

In conclusione per lo studio di moto vario e l'implementazione del modello 2d corrispondente e' stato scelto un idrogramma avente il colmo pari a quello riferibile all'attività 3.2.1 con analogo volume e durata temporale.

In questo modo risulta possibile confrontare a parità di ingresso le differenti possibili soluzioni e gli idrogrammi in uscita.

Sezione di Susa a valle della confluenza col Cenischia: idrogrammi di piena



3. METODOLOGIE DI CALCOLO PER LA DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI IDRAULICHE DI PIENA

La verifica idraulica in moto vario bidimensionale richiede, porta con se l'implicita assunzione che gli effetti di bidimensionalità del moto e di crescita e decrescita dell'onda di piena, congiunti, possano avere conseguenze significative sulle variabili idrauliche, che invece sono generalmente trascurate, dalla classica analisi monodimensionale stazionaria.

Si tratta in sostanza di risolvere le seguenti equazioni costitutive dei fluidi note come conservazione del volume (equazione di continuità) e della quantità di moto (equazione dei momenti).

L'equazione di continuità assume la seguente forma differenziale:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hV}{\partial x} = i$$

(Dove h è il tirante locale, V è la velocità mediata sull'altezza lungo una delle direzioni x, t il tempo, i l'intensità degli eventuali afflussi).

L'equazione dei momenti assume la forma :

$$S_f = S_0 - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_x}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V_x}{\partial t}$$

Dove S_f rappresenta il gradiente dell'energia, S_0 la pendenza del fondo.

La bidimensionalità è data dal fatto che le variabili sono calcolate su due dimensioni x ed y e mediate invece sulla profondità e che le componenti lungo z delle grandezze idrauliche vettoriali sono trascurate.

A partire dalle precedenti equazioni gli effetti bidimensionali stazionari sono connessi principalmente con la presenza di curvature e non uniformità della geometria (nel caso talvolta modificate dall'intervento), dalle condizioni al contorno dai parametri di scabrezza ecc.. . Lo studio degli effetti del moto vario invece oltre che dalla necessità di studio delle precedenti variabili prende ragione principalmente dal timore che le opere possano modificare significativamente il

volume di invaso e l'idrogramma con prevedibili conseguenze anche in aree lontane dall'intervento.

Pur riconoscendo che è possibile effettuare l'analisi delle suddette componenti in maniera unitaria e risolvere le precedenti equazioni su un solo dominio di calcolo, l'analisi svolta, ha preferito la definizione di vari domini di calcolo e fasi d'analisi; questo in funzione delle necessità connesse con la disponibilità commerciale dei codici di calcolo, della rapidità d'esecuzione dei calcoli e, non ultimo quale importanza, l'obiettivo finale che l'analisi bidimensionale in moto vario comporta.

Per quanto riguarda l'analisi di dettaglio degli effetti di bidimensionalità del moto (sopralzi in curva, campo vettoriale del moto ecc), si è preferito ricostruire il campo delle variabili idrauliche mediante un approccio bidimensionale stazionario sufficientemente ampio da coinvolgere un'area estesa a monte e valle degli interventi.

In questo modo è stato possibile definire molte differenti geometrie, descritte in seguito, su cui analizzare gli effetti circoscritti delle configurazioni geometriche quali per esempio riprofilature modifiche agli attraversamenti, presenza di arginature ecc .

Il modello bidimensionale proposto nella configurazione stazionaria nel caso è noto come River 2D (J. Blackburn, P. M. Steffler – University of Alberta 2006). La risoluzione numerica delle equazioni costitutive dei fluidi ovvero la conservazione della massa e del momento è realizzata, nel caso in esame, su un dominio bidimensionale ma nell'ipotesi di moto permanente. L'elaborazione comporta una discretizzazione agli elementi finiti del dominio di calcolo, mediando le grandezze sulla profondità ed adottando l'ipotesi di fondo fisso.

Lo studio degli effetti di variazione nel tempo delle grandezze idrauliche (in particolare gli effetti di laminazione) ovvero l'eventuale modifica dell'idrogramma delle portate è stato invece svolto mediante un unico modello 2D in moto vario noto come FLO 2D (Garcia r., O Brien J.S.) e consiste in una discretizzazione alle differenze finite su celle quadrate delle precedenti equazioni costitutive dei fluidi. Caratteristica saliente di questo secondo modello proposto è che risulta molto ben controllabile e precisa la caratterizzazione della conservazione del volume e quindi l'analisi della modifica dell'idrogramma a scala di evento; tuttavia, la dimensione costante della cella sul dominio di calcolo (quadrata di 50 m, funzione della portata adottata) consente un dettaglio locale minore ed una minore flessibilità d'analisi rispetto al modello agli elementi finiti.

La soluzione numerica avviene mediante uno schema di soluzione esplicito sulla cella delle precedenti equazioni in forma discretizzata e porta alla simulazione di un flusso bidimensionale in moto vario governato dalle equazioni costitutive in forma completa.

La stabilità del modello si basa su un robusto controllo della conservazione del volume e su una scelta molto raffinata del passo temporale di integrazione delle equazioni. Il δt di integrazione che infatti è variabile in funzione dei criteri di stabilità quali: la massima variazione percentuale del livello su una cella, il criterio di Courant-Friedrich-Lewy (velocità e celerità, δx cella), il criterio di Ponce Theurer (pendenza, portata specifica, δx cella).

Il modello FLO2D consente infine di inserire su ciascuna cella elementi specifici quali: canali (dove il moto presenta caratteristiche monodimensionali), ponti (scale di deflusso specifiche), argini (come nel caso in esame), oltre che la presenza di ostacoli simulabili come riduzione di volume di invaso o di sezione libera di deflusso.

I due precedenti modelli sono stati ovviamente confrontati tra loro e con la modellazione in moto permanente monodimensionale alla HEC RAS, già sviluppata, in modo da valutare l'attendibilità e tarare l'affidabilità complessiva dei risultati ottenuti.

4. ASSETTO GEOMETRICO

4.1 FONTI DI DATI

Per definire l'assetto geometrico complessivo dell'area studiata occorre pervenire a DTM sufficientemente precisi e dettagliati dell'intera area in esame per ciascuna delle simulazioni da implementare in quanto, dal dato geometrico, dipende ovviamente la bontà di qualsiasi simulazione.

Nel caso in esame le fonti topografiche sono molteplici e riassumibili nel seguito:

- Rilievo di dettaglio costituito da 36 sezioni rilevate da versante a versante, con rilievo di manufatti e geometrie singolari – attraversamenti , sezioni di canali ecc ... Abbraccia un tratto d'alveo della lunghezza complessiva di 7040 m circa. La distanza media tra le sezioni risulta di circa 200 m. La pendenza risulta pari allo 0.68%, tuttavia la pendenza media effettiva dell'alveo, depurata dei salti della presa di Coldimosso, della traversa a valle del ponte Dora 1 e dei salti d'acqua puntuali, risulta in realtà dello 0,58%.
- Carta tecnica LTF, rilevata con proprio volo e restituita in coordinate LTF alla scala 1:2000; costituita da file vettoriale dei limiti fisici.
- Carta Tecnica Regionale (Ctr) Scala 1:10000

Il fondo della Dora Riparia è stato fondamentalmente desunto da punti rilevati in dettaglio, gli altri limiti ed il piano campagna invece risultano dalla carta tecnica LTF. I DTM pertanto sono stati costruiti mediante il confronto e l'armonizzazione della carta tecnica LTF con i punti di golena delle sezioni rilevate ed i rilievi di dettaglio a disposizione. Sono inoltre state implementate solo limitate integrazioni necessarie provenienti da CTR e CTP di aree marginali. Il risultato del suddetto lavoro di "cucitura" è rappresentato dagli elaborati denominati "Planimetria di restituzione delle geometrie".

Il tratto effettivamente indagato mediante modello 2D è stato esteso a tutto il fondo valle è si sviluppa da valle traversa Coldimosso per una lunghezza d'alveo complessiva di 5510 m sino all'incirca alla sezione n° 40 di rilievo posta a valle della traversa situata nei pressi di Strada Susa in Bussoleno.

I limiti di modello 2D sono dunque leggermente inferiori all'estensione del rilievo in quanto il modello 1D, già redatto, ha consentito di definire meglio i limiti di calcolo influenti sulle aree di interesse. Anche in tal caso la pendenza media della Dora nel tratto risulta pari a circa lo 0.67%.

Secondo le misure e la numerazione delle sezioni riportate dal PAI, la zona modellata è approssimativamente contenuta tra la sezione 106.2 e la sezione 98.

4.2 DEFINIZIONE DEGLI SCENARI DI CALCOLO DI MOTO BIDIMENSIONALE STAZIONARIO

Il fine dei differenti scenari è poter valutare l'effetto di differenti geometrie sulle variabili idrauliche. Con riferimento agli scenari di calcolo adottati per le valutazioni di moto permanente monodimensionale si sono individuate 4 configurazioni geometriche principali alle quali si sono affiancate di volta in volta altre configurazioni geometriche al fine di meglio comprendere risultanze e conseguenze idrauliche delle opere introdotte.

1.1 Simulazione delle condizioni di rilievo o stato attuale: risulta essenziale per poter avere un termine di paragone sia rispetto agli interventi in progetto che al grado di dissesto già previsto a livello di PRGC o di PAI. Tavole geometria PD2_C3A_1171_22-02-10_30-01.

1.2 Simulazione delle condizioni di rilievo con aggiunta della fascia B di progetto vigente a protezione dell'abitato di San Giuliano (Susa): è da considerarsi una simulazione di rilievo nel

senso che si fa l'ipotesi che venga realizzata la sola vigente fascia B di progetto prevista dal PAI ma null'altro; è utile per poter valutare se le modifiche idrauliche nella configurazione di progetto, accoppiato alla protezione di San Giuliano, (che comporta una limitata modifica della fascia B di Progetto vigente) siano imputabili al progetto o piuttosto se la componente legata alla necessità di protezione dell'abitato risulti preponderante nel modificare le variabili idrauliche in primo luogo tiranti e velocità. Tavole geometria PD2_C3A_1190_22-02-10_30-20.

2.1 Simulazione delle condizioni di progetto LTF: sono inserite sulla geometria di rilievo le modifiche dovute alla realizzazione del progetto LTF ovvero per quanto riguarda l'attraversamento di Susa una generale riprofilatura delle sezioni (in allargamento parziale verso la sponda sinistra) nel tratto compreso tra gli attuali ponti autostradali Dora 1 e Dora 2. L'eliminazione del rilevato di spalla sinistra del ponte Dora 1 collocato a valle del nuovo ponte LTF, la protezione delle spalle del nuovo ponte (in particolare la destra ha comportato un leggero avanzamento della sponda verso l'alveo), la realizzazione dei fornicelli di accesso e fruizione in sinistra, il mantenimento invariato dell'opera di presa e della traversa a valle del Dora 1. Tavola geometria PD2_C3A_1176_22-02-10_30-06.

2.2 Simulazione delle condizioni di progetto LTF con argine in sinistra a garanzia dell'invarianza di dissesto verso l'abitato di San Giuliano: l'eliminazione del rilevato del ponte Dora 1 a valle dell'attraversamento LTF comporta anche una riduzione della protezione, che indirettamente (e impropriamente da un punto di vista prettamente idraulico) il rilevato forniva, nell'impedire l'esondazione sulla sponda sinistra verso la frazione di San Giuliano; la simulazione è impostata specificatamente al fine di determinare la conformazione di una adeguata arginatura sulla sponda sinistra atta a lasciare inalterate o migliorare le condizioni di esondazione attuale verso l'abitato di San Giuliano. L'arginatura sarà impostata in modo da raccordare correttamente le spalle del Ponte LTF a monte con il tracciato del futuro limite della protezione della fascia B di progetto del PAI a valle della quale, l'intervento proposto, costituisce per così dire un lotto funzionale. In altre parole la protezione prevista nel presente scenario è costituita proprio da quella porzione arginale che risulta in buona parte in variazione rispetto alla prevista fascia B di progetto del PAI ed è da considerarsi indispensabile al fine di lasciare inalterate o migliorare le condizioni di esondazione attuale nei confronti delle aree a tergo. Tavole geometria PD2_C3A_1189_22-02-10_30-19.

3.1 Simulazione delle condizioni di progetto LTF con realizzazione completa della fascia B di progetto del PAI: rappresenta la condizione finale di lungo termine pertanto quella rispetto alla quale determinare i franchi degli attraversamenti, il fine è quindi comprendere le interazioni tra l'intervento proposto e le protezioni dal dissesto previste dal PAI. Tavole geometria PD2_C3A_1181_22-02-10_30-11.

3.2 Simulazione delle condizioni di progetto LTF con fascia B di progetto del PAI completata nell'ipotesi di otturazione completo dei fornicelli di fruizione della sponda sinistra, accesso e trasparenza idraulica del rilevato in corrispondenza del ponte LTF di Susa: è una simulazione significativa per il ponte LTF di Susa finalizzata a determinare la consistenza del franco e della capacità di deflusso del ponte anche nell'ipotesi di completa ostruzione delle luci laterali. È stata valutata per il solo tempo di ritorno di 500 anni. Tavola geometria PD2_C3A_1189_22-02-10_30-19.

4.1 Simulazione delle condizioni di progetto LTF nelle condizioni transitorie di cantiere: Il tempo di ritorno adottato risulta quello cinquantennale ed è finalizzato alla determinazione delle quote di sicurezza per le opere provvisorie di cantiere. Si sono scelte le configurazioni geometriche più severe per la verifica degli attraversamenti, in particolare per Susa si intende simulare la configurazione del nuovo ponte nell'ipotesi transitoria ante rimozione del rilevato del ponte Dora 1. Per quanto riguarda le restanti aree di cantiere in Bussoleno si tratta di verificare la compatibilità dell'area in destra Dora nei pressi ponte e di quelle in sinistra per accesso ai rilevati e nei pressi della centrale elettrica RFI. La geometria scelta a valle anche in tal caso risulta quella più cautelativa con il ponte ad archi di rilievo mantenuto e le dune di chiusura in sinistra già realizzate. Tavole geometria PD2_C3A_1186_22-02-10_30-16.

In conclusione le simulazioni bidimensionali stazionarie possono essere riassunte nella seguente

SIM.n°	geometria	Zona di Interesse prevalente	Tempo di ritorno analizzato	Nome file di riferimento (codifica)
1.1	Rilievo	Attraversamento di Susa e di Bussoleno	500 anni 200 anni	1-1 rilievo_tr500 1-1 rilievo_tr200
1.2	Rilievo +PAI	Solo Susa loc S Giuliano	500 anni 200 anni	1-2 rilievo_con_PAI_tr500 1-2 rilievo_con_PAI_tr200
2.1	Progetto LTF	Attraversamenti di Susa e di Bussoleno	500 anni 200 anni	2-1_progetto LTF TR500 2-1_progetto LTF TR200
2.2	Progetto LTF+argine di invarianza dissesto	Susa loc S Giuliano	500 anni 200 anni	2-2_prog LTF_arg_parz TR200 2-2_prog LTF_arg_parz TR500
3.1	Progetto LTF + PAI	Attraversamento di Susa e di Bussoleno	500 anni 200 anni	3-1_prog LTF_PAI TR200 3-1_prog LTF_PAI TR500
3.2	Progetto LTF con luci Susa otturate + PAI	Solo Attraversamento di Susa	500 anni	3-2 progetto_PAI_senza_fornici_tr500
4.1	Cantiere	Attraversamenti ed aree di cantiere	50 anni	4-1_cantieri_tr50

4.3 DEFINIZIONE DEGLI SCENARI DI CALCOLO DI MOTO BIDIMENSIONALE VARIO

Anche nel caso del moto vario risulta essenziale definire gli scenari di riferimento al fine di poter valutare principalmente le variazioni dell'idrogramma di riferimento e le conseguenze connesse con la realizzazione delle opere. Nel caso in esame si ritiene sufficiente indagare due soli scenari geometrici utilizzando l'idrogramma cinquecentennale. Si sono scelti i due casi estremi di variazione della geometria e delle possibili variazioni nel volume di invaso, ovvero:

- caso 1 moto vario nelle condizioni attuali di rilievo
- caso 2 moto vario nelle condizioni progetto LTF + opere PAI realizzate

La scelta del caso 1 è dettata dall'interesse a valutare l'effettiva capacità di laminazione e nel tratto di interesse allo stato attuale, e come parametro di raffronto rispetto alle condizioni finali di progetto proposte nel caso 2.

Per quanto riguarda la scelta del caso 2 occorre invece prendere in considerazione alcuni fattori più articolati. In effetti, già da una valutazione meramente qualitativa (vedi successivo paragrafo 7.1.1), il progetto LTF non comporta una variazione significativa del volume invasato in alveo, anzi, a Susa, si ritiene che la rimozione del rilevato del Dora 1 con la necessità di agire sull'allargamento delle sezioni nel tratto dell'attraversamento LTF comporti addirittura un aumento, sebbene minimo, dell'invaso. Per Bussoleno invece il volume di invaso viene leggermente ridotto dall'ispessimento del rilevato ferroviario.

In generale quindi i volumi di invaso oggetto di variazione per causa del solo progetto LTF sono tali da non costituire una perturbazione significativa rispetto al volume complessivo del fenomeno di piena. In realtà la maggiore variazione, in riduzione, del volume di invaso è certamente costituita non dalla realizzazione dei due attraversamenti e dalle opere LTF, ma dalla realizzazione delle

previsioni del PAI a protezione dell'urbanizzato, che comportano a monte le arginature a protezione della frazione San Giuliano, per quanto riguarda l'abitato di Susa, e a valle l'arginatura di fascia B di progetto da realizzare tra il rio di Foresto ed il rilevato ferroviario RFI a protezione dell'abitato di Bussoleno dalla vasta esondazione in sinistra. Per tale ragione tra le varie configurazioni di progetto risulta di particolare interesse valutare l'effetto massimo di riduzione di invaso costituito dalla realizzazione delle opere di arginatura longitudinale che nel caso potrebbero influenzare la dinamica dell'idrogramma.

In conclusione I due scenari indicati risultano le situazioni estreme di raffronto, mentre tutte gli altri casi sono situazioni con condizioni idrauliche intermedie tra i due casi estremi; pertanto, poiché si vedrà nel seguito che l'idrogramma di piena non subisce modifiche significative tra le due condizioni definite, si ritiene che questo tipo di analisi sia da ritenere esaustiva per quanto riguarda l'analisi di moto vario e le finalità di quest'ultimo ovvero la modifica dell'idrogramma.

5. CONDIZIONI AL CONTORNO DEI MODELLI

5.1 MOTO PERMANENTE BIDIMENSIONALE

La realizzazione del modello bidimensionale di moto permanente ha comportato l'adozione delle seguenti condizioni al contorno:

per tutte le condizioni

- portata al colmo costante in ingresso pari ai valori riportati nel paragrafo 2
- altezza idrometrica costante imposta all'uscita del modello pari all'altezza di moto permanente calcolata mediante un modello monodimensionale realizzato ad hoc in corrispondenza della sezione di uscita del modello. Il livello di valle risulta pari a 437.00 msm per tr 50 anni, 438.50 msm per tr 200 anni, 439.65. msm per tr 500 anni.

5.2 MOTO VARIO BIDIMENSIONALE

La realizzazione del modello bidimensionale di moto vario ha comportato l'adozione delle seguenti condizioni al contorno:

- Idrogrammi in ingresso come indicato nel paragrafo 2 entrante a valle della traversa di Coldimosso;
- Condizioni al contorno in uscita definite in automatico dal modello mediante l'assunzione, ad ogni Δt , di condizioni di moto uniforme, dette condizioni sono costituite assumendo la pendenza motrice di valle sulle celle di uscita pari alla pendenza di fondo locale, Tali condizioni sono rappresentative delle condizioni effettive a fine tratto di studio.

6. DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI DI SCABREZZA

La definizione delle variabili idrauliche è determinata, in estrema sintesi, da una soluzione delle equazioni differenziali costitutive dei fluidi che devono essere soddisfatte dall'accoppiamento delle variabili note di geometria, portata e scabrezza. La scabrezza è il coefficiente più influente sulla determinazione dei livelli nelle sezioni considerato che la geometria del problema e la portata sono fissate.

Il coefficiente adottato è stato tarato coerentemente con i valori proposti dall'Autorità di Bacino nell'ambito della Direttiva "Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B".

Per quanto riguarda il coefficiente di manning adottato si è prescelto in generale una scabrezza di Manning pari a $0.04 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ ($25 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ di Strickler) per l'alveo. Per quanto attiene al valore di scabrezza adottato in golena si è posto n di Manning pari a $0.05 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ ($20 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ di Strickler) per tenere conto della vegetazione e degli ostacoli puntuali non altrimenti modellabili.

I precedenti valori di scabrezza sono stati adottati per tutte le simulazioni e per tutti i modelli descritti in precedenza.

E' evidente che nella definizione della scabrezza sul dominio 2D per moto vario, (essendo la cella di dimensioni notevoli) si è cercato per quanto possibile di rispettare uniformemente i limiti in modo da poter confrontare i risultati ottenuti.

L'assegnazione in input dei parametri connessi con la definizione delle perdite per attrito al fondo del modello di moto bidimensionale stazionario necessita la di definire il parametro rugosità k_s (roughness) direttamente dipendente dalla scabrezza secondo la seguente legge:

$$k_s = \frac{12R}{e^m} \quad \text{con} \quad m = \frac{R^{1/6}}{2.5n\sqrt{g}}$$

k_s è dunque funzione del raggio idraulico R (m) e della scabrezza di Manning n ($m^{-1/3} s$).

In ogni caso le condizioni di scabrezza si sono mantenute invariate al variare dalle condizioni di rilievo a quelle di progetto. I risultati ottenuti pertanto non dipendono da differenti valori di scabrezza adottati ma solo dalle condizioni macrogeometriche considerate quali la conformazione del piano campagna.

7. MODALITÀ DI DEFLUSSO IN PIENA

7.1 CONSIDERAZIONI SULLE CONDIZIONI IDRAULICHE ATTESE

Prima di procedere all'analisi dei risultati dei modelli è possibile fare alcune ipotesi preliminari sulla dinamica della Dora al fine di inquadrare le problematiche oggetto di indagine.

Il moto in oggetto presenta delle generali caratteristiche di monodimensionalità con alcuni aspetti, talvolta fondamentali, che esulano dalla trattazione monodimensionale. Il moto inoltre è generalmente di regime di corrente lenta prossimo all'altezza critica che comporta velocità di flusso talvolta ragguardevoli.

7.1.1 VALUTAZIONE PRELIMINARE DEGLI EFFETTI DI PROPAGAZIONE DELLA PIENA

Per onde estremamente lunghe con periodo di alcune ore come gli eventi di piena in esame è possibile in prima approssimazione determinare il valore della celerità dell'onda stessa mediante formulazioni empiriche.

In particolare la celerità nel caso in oggetto è funzione della sezione considerata e della velocità media nella sezione

Generalmente vale la seguente: $C=nU$ con C celerità, U velocità media ed n un esponente compreso tra $3/2$ e $5/3$ a seconda dei casi considerati.

Considerato l'ordine di grandezza della velocità media in piena pari a 4 m/s la celerità risulta di circa 6 m/s.

la lunghezza d'asta fluviale analizzata complessiva è di 5500 m, pertanto l'ordine di grandezza del ritardo atteso tra l'ingresso e l'uscita dell'onda di piena nel tratto è pari a circa 15 minuti.

7.1.2 SOTTRAZIONE DEL VOLUME DI INVASO

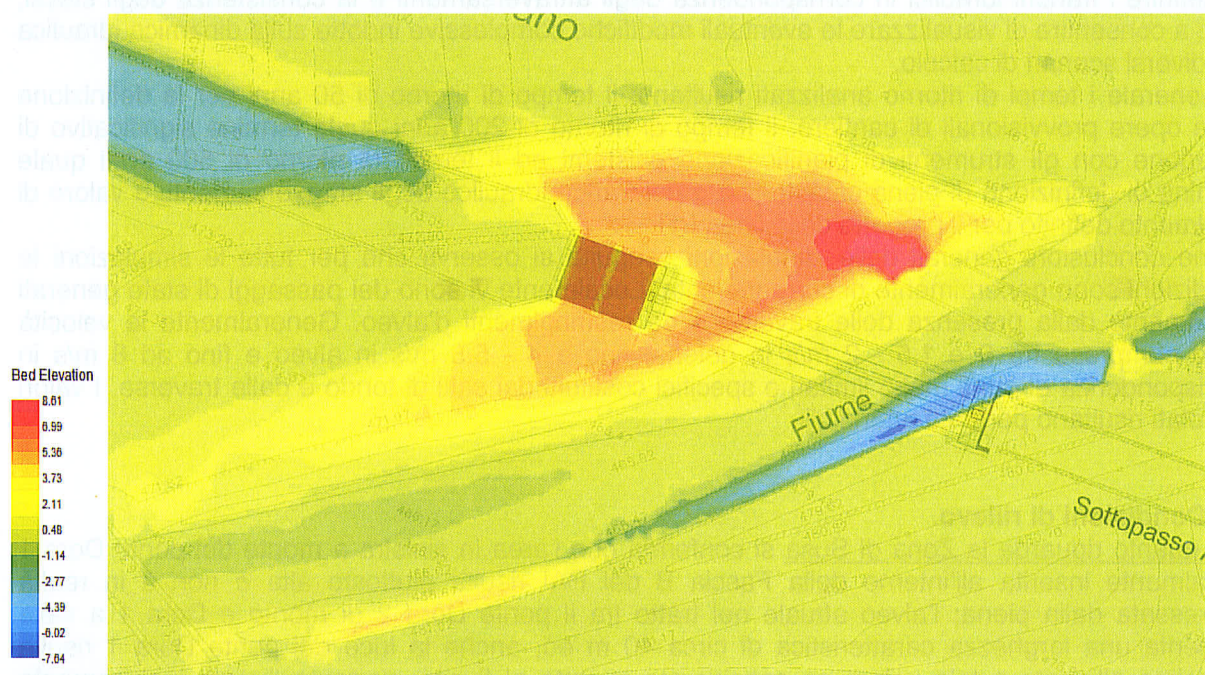
Un primo elemento essenziale di valutazione è che l'idrogramma presentato nel paragrafo 2 per tempo di ritorno di 500 anni presenta un volume complessivo di circa $216 \cdot 10^6$ mc. Ogni successiva valutazione sulla variazione dei volumi di invaso non può prescindere dal tenere in conto il valore precedentemente riportato. Nell'ipotesi di considerare solo la parte "alta" dell'onda, nel caso al di sopra di 500 mc/s (colmo 811 mc/s) detto volume risulta di circa 44 milioni di mc.

La valutazione del volume di invaso sottratto a priori risulta utile solo per definire gli ordini di grandezza dei fenomeni in studio, in un certo senso validare e comprendere se le simulazioni svolte ed illustrate successivamente rispettino gli ordini di grandezza attesi.

Gli attraversamenti LTF sia di Susa che di Bussoleno hanno un duplice effetto di variazione del volume di invaso: 1) cambio dei tiranti di piena, 2) cambio nella superficie di occupazione delle opere. Il primo punto può essere valutato solo sulla base dei livelli calcolati e pertanto verrà demandato ai successivi paragrafi. Per quanto riguarda il secondo aspetto la forma e le modifiche dei rilevati della linea previsti a Susa in sponda sinistra Dora comportano lo sbancamento del

rilevato del ponte Dora 1 da quota 473 a quota 467 circa, inoltre contemplano una modifica di sponda sinistra. Dal raffronto tra il DTM di rilievo rispetto al DTM di progetto LTF si ottiene una stima della modifica geometrica correlabile ad un aumento del volume di invaso pari a circa 13000 mc.

Merita dare una rappresentazione grafica di quest'ultimo dato mediante la seguente immagine ricavata dalla sottrazione del DTM di rilievo rispetto al DTM di progetto (in rosso le zone che saranno oggetto di scavo, in Blu di riporto).



Si nota la rimozione del rilevato del ponte esistente Dora 1 ed il raccordo in riporto di protezione della spalla destra del nuovo ponte mentre larga parte dell'alveo e le quote di fondo sono sostanzialmente invariate (verde chiaro).

La morfologia e le modifiche dei rilevati della linea previsti a Bussoleno in sponda sinistra Dora comportano una superficie interessata di circa 10000-12000 mq in una zona che presenta dei tiranti di rilievo di circa 2 m; pertanto l'ispessimento del rilevato di linea porta ad una riduzione di invaso di circa 25000 mc nell'ipotesi più cautelativo sotto il profilo idraulico.

Risulta evidente che le precedenti variazioni di volume di invaso possono considerarsi secondarie rispetto ai volumi in gioco.

Le arginature previste dal PAI interessano areali più estesi su cui è possibile in prima approssimazione definire l'entità della riduzione del volume di invaso. Per quanto riguarda l'intervento PAI a protezione di San Giuliano si stima che l'area effettivamente protetta e sottratta all'invaso risulti di circa 100000 mq tuttavia la suddetta area presenta tiranti medi limitati nell'ordine dei 50 cm pertanto in prima approssimazione si può valutare una sottrazione del volume di invaso di circa 50000 mc.

L'intervento previsto dal PAI a protezione dell'abitato di Bussoleno presenta invece una estensione ragguardevole di circa 400000 mq in una zona che attualmente è esondabile con tiranti medi intorno ai 2.00 m pertanto si stima una riduzione del volume di invaso tra 0.7 ed 1 milione di mc.

In conclusione tuttavia tali sottrazioni di volume di invaso connesse con la realizzazione delle opere di PAI, pur decisamente più significative rispetto a quelle imputabili alle sole opere LTF, risultano modeste se rapportate all'ordine di grandezza del volume di piena. Dallo studio del moto vario quindi è ragionevole attendersi delle variazioni limitate sia sul ritardo della piena sia sul valore al colmo di piena.

7.2 ANALISI DEI RISULTATI

7.2.1 MOTO PERMANENTE BIDIMENSIONALE

Ciascuna delle precedenti simulazioni ha comportato la valutazione delle principali variabili idrauliche sul dominio di calcolo, relative a tiranti, velocità e caratteristiche del campo di moto (direzioni, numero di Froude, etc.); i risultati del presente paragrafo sono dunque essenziali al fine di definire i franchi idraulici in corrispondenza degli attraversamenti e la consistenza degli stessi, oltre a consentire di visualizzare le eventuali modifiche complessive indotte sulla dinamica idraulica nei diversi scenari di calcolo.

In generale i tempi di ritorno analizzati risultano: il tempo di ritorno di 50 anni per la definizione delle opere provvisorie di cantiere, il tempo di ritorno di 200 anni quale termine significativo di paragone con gli strumenti di pianificazione esistenti ed il tempo di ritorno di 500 anni quale termine di definizione di piena catastrofica e del franco idraulico degli attraversamenti, e valore di riferimento definito per il progetto della linea LTF.

Come conclusioni generali delle simulazioni eseguite si osserva che per tutte le simulazioni le condizioni sono generalmente di corrente lenta. Localmente vi sono dei passaggi di stato generati ovviamente dalla presenza delle traverse o da restringimenti d'alveo. Generalmente le velocità sono comprese tra 0 e 1.5 - 2 m/s in golena, fino a 4 - 5.5 m/s in alveo e fino ad 8 m/s in corrispondenza di punti molto limitati e specifici costituiti dai salti di fondo e dalle traverse. I valori calcolati risultano pertanto attendibili.

1.1 Condizioni di rilievo.

Per quanto riguarda la Zona di Susa si conferma che l'area in sinistra a monte del ponte Dora 1 attualmente inserita all'interno della Fascia B del PAI risulta piuttosto alta e non è in realtà interessata dalla piena; l'alveo attuale nel tratto tra il ponte Dora 2 di monte e Dora 1 a valle presenta una larghezza caratteristica di circa 40 m ed, anche la luce del ponte Dora 1 risulta all'incirca allineata a tale valore se considerata in retto al flusso; pertanto l'intero inalveamento esistente dal ponte Dora 2 sino alla traversa a valle Dora 1 costituisce, allo stato attuale, un tratto d'alveo molto artificializzato e ristretto con tiranti che arrivano sino a 6 m e soprattutto velocità ragguardevoli che possono arrivare localmente sino a 6.5 m/s sotto il ponte Dora 1. I numeri di Froude della corrente infatti indicano che la corrente è molto prossima all'altezza critica (tr 200) o pari all'altezza critica (tr 500). Tale comportamento idraulico trova ragione sia nell'effetto del richiamo dovuto alla traversa di valle, sia per l'effetto di allargamento di sezione ed apertura della golena sinistra a valle del Dora 1. La sponda sinistra infatti risulta a quote prossime a 472.00 msm a monte ponte Dora 1 mentre risulta a quote vicine a 467.00 msm in sinistra in corrispondenza della traversa di presa.

Un ulteriore fattore significativo dell'analisi riguarda gli effetti verso valle del ponte del Dora 1. Le spalle ed il rilevato, così come la diversa quota della sponda, variabile nell'arco di pochi metri, determina un effetto di "spandimento" a valle verso la golena sinistra come accade a valle di una luce tarata. In effetti, a valle del suddetto rilevato, il livello per TR 500 anni risulta pari a circa 468.30 mentre il livello per TR 200 anni risulta pari a circa 468.05, una differenza piuttosto ridotta, che determina in entrambi i casi l'esonazione, parzialmente anche a ritroso, verso la frazione San Giuliano.

I livelli assoluti nel tratto incassato tra i due svincoli autostradali infine sono elevati e risulterebbero molto vicini a quota 470.1, per tempo di ritorno di 500 anni, in corrispondenza del nuovo ponte LTF.

I valori del livello calcolato nelle condizioni di rilievo sono dunque incompatibili con l'ottenimento di un adeguato franco idraulico per l'attraversamento in progetto. Per tale ragione è stato sviluppato lo studio di soluzioni idrauliche che, come illustrato nei successivi paragrafi, potesse rendere compatibile l'opera nel contempo migliorando le condizioni idrauliche nel tratto.

Per quanto riguarda la zona di Bussoleno nelle attuali condizioni il ponte esistente ad arco determina i livelli di monte ed una condizione di rigurgito. In effetti le velocità, anche in alveo,

risultano inferiori a 2.5-2.7 m/s a monte ponte RFI (tr 200-500) mentre il flusso subisce una accelerazione a valle ponte sino ad oltre 4-4.5 m/s (tr 200-500). Il ponte attuale ancorchè non abbia dunque problematiche di franco essendo piuttosto alto determina comunque una strozzatura. Significativo risulta il fatto che i livelli a monte ponte possano generare esondazione verso la sponda sinistra e verso il concentrico di Bussoleno; l'analisi delle risultanze indica che una aliquota significativa (45-50 % - tr200-500) della portata si incanala verso sinistra trovando sfogo verso Bussoleno aggirando di fatto il ponte esistente. Una parte di detta esondazione (30-40 mc/s) attraversa il rilevato da un fornice esistente situato a circa 300 m dalla spalla sinistra del ponte la restante parte allaga le aree a tergo del rilevato tracimando al di sopra dello stesso o utilizzando il sottopasso della SS 25.

I Livelli in corrispondenza del lato monte ponte risultano rispettivamente 445.20, 445.50 (tr200-500). Il livello attuale in corrispondenza dell'opposta spalla destra determina una pesante esondazione in corrispondenza della SS24 che di fatto funge da luce aggiunta al ponte. La quota del piano strada, che necessariamente passa sotto la ferrovia, risulta infatti a quote di 443.80-443.50. Tavole risultati PD2_C3A_(1172-1175)_22-02-10_30-(02-05)

1.2 Condizioni di rilievo con realizzazione fascia B del PAI.

È una verifica significativa per Susa se si considera che l'arginatura determinerebbe a valle traversa un aumento dei livelli di circa 30-40 cm ed un rallentamento delle velocità nell'ordine di 0.5 m/s; tale risultato conferma quanto già analizzato mediante modello 1D; questo conferma infatti nel tratto come la simulazione di carattere monodimensionale risulti prossima alla realtà fisica.

Per quanto riguarda Bussoleno la configurazione con arginatura sposta l'intera portata verso il ponte esistente e la SS 24; la conseguenza è che il livello risultante sia per Tr 200 che per tr 500 anni supera 446.1 msm; considerato che la chiave del ponte è alla 446.09 msm, si ritiene il valore di livello ottenuto addirittura sottostimato e poco attendibile in quanto non è possibile, nella configurazione del modello 2D a disposizione, modellare un ponte ad arco come luce sotto battente. In sostanza la modellazione conferma come in presenza di arginature che contengano in alveo tutta la portata l'attuale ponte ferroviario non solo non sia idraulicamente verificato ma diventa un ostacolo al deflusso con interessamento dell'impalcato in condizioni di livelli di piena. Tavole risultati PD2_C3A_(1190-1191)_22-02-10_30-(20-21)

2.1 Simulazione delle condizioni di progetto LTF

Per quanto riguarda le condizioni di progetto a Susa la nuova geometria delle sezioni nel tratto compreso tra il ponte Dora 2 a monte e la traversa di presa a valle comporta alcuni significativi risultati: le velocità diminuiscono di circa 1 m/s per entrambi i tempi di ritorno, e la distribuzione della velocità sulla sezione è più regolare; la punta di massima velocità infatti arretra a monte, in prossimità del ponte Dora 2, dove il rientro in alveo dalla sponda destra – peraltro presente anche in rilievo - determina la maggiore accelerazione; si riduce anche l'effetto di sbocco da sezione ristretta avendo eliminato il restringimento d'alveo costituito dal rilevato sinistro del Ponte Dora 1. La traversa di presa a valle risulta meno sollecitata in termini di velocità assoluta in corrispondenza del salto; i tiranti si riducono da circa 6 m a valori inferiori a 4 m. I precedenti effetti sono stati ottenuti mediante l'allargamento in sinistra delle sezioni previsto in progetto, che passano da circa 40 m a 50 m, e l'aggiunta delle luci di trasparenza del rilevato di accesso al ponte in sinistra.

In corrispondenza del ponte LTF la configurazione scelta presenta dei livelli adeguati in termini di calcolo del franco idraulico; per Tr 500 anni infatti si ha un livello in sinistra pari a circa 469.00 mentre in destra si arriverebbe a 468.85 (intradosso sinistro 470.48, intradosso destro 470.29), e quindi con garanzia di franco idraulico sempre superiore ad 1 m.

Complessivamente, a fronte dei vantaggi dal punto di vista idraulico per il tratto in esame illustrati, la soluzione adottata comporta (contrariamente a quanto prevedibile mediante il solo approccio 1D) una situazione di potenziale aumento della pericolosità per le aree circostanti, ovvero il fatto che il precedente rilevato Dora 1, pur costituendo un obiettivo restringimento, forniva una

maggior protezione alla golena sinistra ed era più vicino alla traversa favorendone di fatto il richiamo ed il deflusso verso la stessa (a parziale, anche se non corretta in termini funzionali, protezione delle aree in sinistra orografica). Nella nuova configurazione i livelli di Dora vengono messi in condizioni di esondare verso sinistra più a monte rispetto a prima e ad una maggior distanza dalla traversa e dal suo richiamo. Questo determina dei livelli assoluti in golena sinistra a valle ponte LTF più elevati (da 468.30 a 468.90 per Tr 500, da 468.05 a 468.70 per Tr 200). In termini di portata si nota che in tutti i casi una aliquota circa costante di 60-70 mc/s prende la strada della golena sinistra; nelle condizioni di rilievo si infilava nel passaggio tra il rilevato del Dora 1 e la traversa di valle, nelle condizioni analizzate in situazione di progetto invece esonda sfruttando le luci di accesso ed una sponda più lunga tra il ponte LTF e la traversa che riduce l'effetto di richiamo. Per tale ragione la soluzione relativa alla sola ipotesi di realizzare il ponte LTF deve porsi l'ulteriore obiettivo di non peggiorare quantomeno le condizioni di pericolosità attuale rispetto alle aree limitrofe, soluzione analizzata nello scenario 2.2.

Per quanto riguarda la zona di Bussoleno l'eliminazione delle due pile presenti in alveo risulta di per se un miglioramento idraulico in considerazione della minore esposizione all'intasamento dovuto al flottante; la dimensione della luce scelta risulta analoga a quella dell'attuale ponte di valle, che è verificato; una luce maggior in effetti non avrebbe comportato variazioni particolari in considerazione della presenza proprio del ponte di valle. Contrariamente al caso 1D dove non era possibile tenere in conto pienamente dell'esondazione verso sinistra e pertanto la rimozione del ponte ad arco apportava un significativo decremento dei livelli, nel caso 2D in esame, il fatto che una aliquota elevata della portata trovi sfogo in sinistra fa sì che la rimozione delle pile dell'attuale ponte ad arco abbia un effetto sui livelli molto più sfumato. Se nelle condizioni di rilievo infatti in corrispondenza del ponte attuale si aveva un livello di 445.20, 445.50 (tr200-500) il livello con sostituzione del vecchio ponte risulta di 445.10, 445.45 (tr200-500). Le quote di intradosso intradosso sinistro risultano 447.63 di intradosso destro 448.67.

In conclusione per Bussoleno permangono condizioni di deflusso molto simili alle condizioni di rilievo, sia pur con l'eliminazione dell'ostacolo dovuto al ponte di monte. Tavola risultati PD2_C3A_(1177-1180)_22-02-10_30-(07-10)

2.2 Simulazione delle condizioni di progetto LTF con argine in sinistra a garanzia dell'invarianza di dissesto verso l'abitato di san Giuliano

Questo scenario ha per obiettivo la valutazione dell'intervento necessario nella zona di Susa per garantire l'invarianza delle condizioni di pericolosità idraulica nei confronti delle aree limitrofe, ed in particolare definire e verificare la lunghezza minima di una difesa arginale in sinistra tale da riportare il livello di pericolosità delle aree circostanti ad una condizione "non peggiore" di quelle attuali, nel rispetto delle previsioni di PAI.

Il rilevato scelto è stato comunque pensato per arrivare a proteggere almeno la via Formazione Stellina e le abitazioni prospicienti la sede della Croce rossa nei pressi di Corso Stati Uniti. In questo modo si evita l'esondazione a ritroso e si apporta comunque non solo una invarianza di dissesto, ma un beneficio alla frazione San Giuliano. In effetti il tratto di arginatura prevista consente di mantenere i livelli verso la sponda sinistra a 467.30 per TR 500 anni e 467.00 per TR 200 anni; rispetto ai valori di 468.30 per TR 500 anni e 468.05 per TR 200 anni delle condizioni di rilievo in realtà quindi si migliora di molto le condizioni di dissesto.

Si è incluso nel progetto il tracciato del suddetto argine perché la parte da realizzare che non risulta prevista dalla Fascia B di progetto. Il nuovo rilevato infatti è inserito "in sostituzione" del rilevato del Dora 1 che nel caso costituiva una fascia B naturale.

L'argine in progetto proposto quindi raccorda da monte la spalla del nuovo ponte LTF e la prevista fascia B di progetto a valle e pertanto rispetta le previsioni di PAI

Dal punto di vista idraulico la protezione dell'edificato ha un riflesso anche in termini di riduzione del franco in corrispondenza del ponte LTF. Rispetto alla soluzione 2.1 in effetti i livelli risultano pari a 469.30 – 469.20 (sponda sinistra e destra) per TR 500 anni e 468.80 (sponda sinistra e destra) per TR 200 anni (intradosso sinistro 470.48, intradosso destro 470.29). La ragione del suddetto aumento è dovuta all'incremento dei livelli che l'arginatura comporta a monte ed anche a

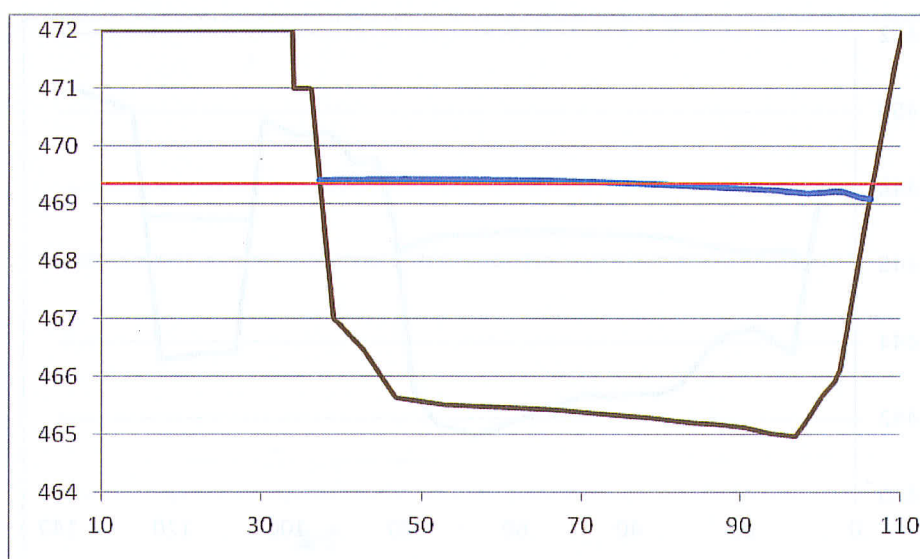
valle della traversa di derivazione e che, come previsto anche da modello 1D, riduce lo svincolo idraulico in corrispondenza della traversa stessa. Tavole risultati PD2_C3A_(1192-1193)_22-02-10_30-(22-23)

3.1 Simulazione delle condizioni di progetto LTF con realizzazione completa della fascia B di progetto del PAI

Per quanto riguarda le condizioni di progetto a Susa la presente simulazione rappresenta quella effettiva sulla quale calcolare il franco del ponte in quanto condizionata anche dalla presenza dell'arginatura completa del PAI. La disponibilita di numerosi dati più completi rispetto alle condizioni 1D rende leggermente più complessa la definizione del franco. La "Direttiva Infrastrutture" del PAI richiede che il franco minimo tra quota di massima piena di progetto e quota d'intradosso del ponte sia pari a 0,5 volte l'altezza cinetica della corrente e comunque non inferiore a 1,00 m.

Nel caso specifico, nel rispetto delle prescrizioni RFI e LTF, il tempo di ritorno scelto per l'evento di riferimento è quello cinquecentennale. Per quanto riguarda le velocità queste sono limitate a 4,5-5 m/s pertanto il franco richiesto è pari ad 1 m.

Per quanto riguarda i livelli risulta più chiaro fare ricorso al successivo grafico che rappresenta una sezione rilevata in parallelo al lato di monte dell'impalcato del ponte di Susa. La geometria della sezione rappresenta fedelmente il DTM del modello 2D, il livello azzurro la quota idrometrica per TR 500 desunta dal modello 2D, la linea rossa il livello 1D pari a 469.35 delle verifiche idrauliche preliminari all'adozione del nuovo ponte di luce 90 m e fornici in sinistra.



Il livello 1D pare dunque essere nella sostanza confermato; leggendo il dato puntualmente si ha:

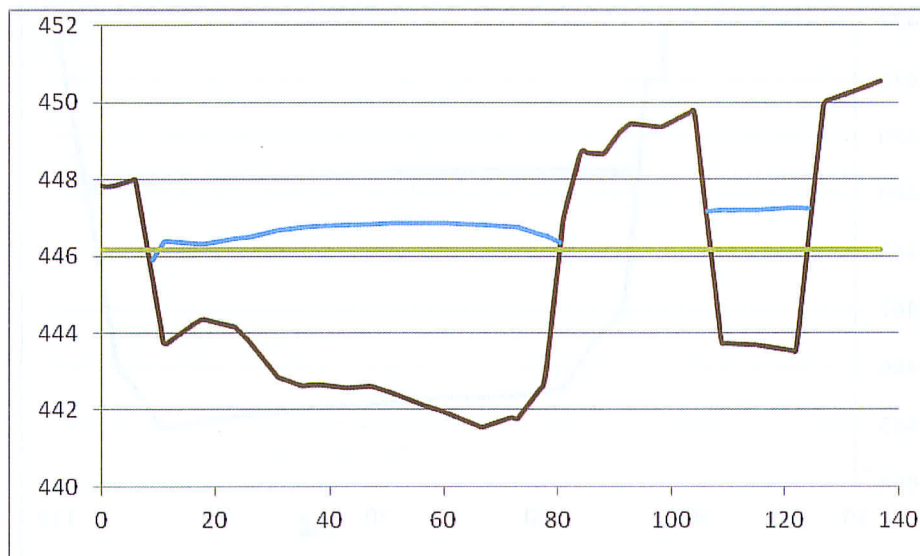
	Quota idrometrica (msm)	Quota intradosso (msm)	Franco (m)
Luce fornice 1	469.38	471.19	1.81
Luce fornice 2	469.40	471.19	1.79
Spalla sinistra (con effetto sopralzo locale per presenza pila)	469.48	470.48	1.00
Spalla sinistra	469.33	470.48	1.15
Centro luce	469.38	470.38	1.00
Spalla destra	469.22	470.29	1.07

Se si osservano i valori riportati, rispetto alle soluzioni 2.1 e 2.2, si ha un ulteriore innalzamento dei livelli dovuto al completamento delle difese previste dal PAI ed alla loro ripercussione (in verità modesta) verso monte in termini di rigurgito.

Il calcolo dei franchi, per tempo di ritorno di 200 anni, porta analogamente alla seguente:

	Quota idrometrica (msm)	Quota intradosso (msm)	Franco (m)
Luce fornice 1	468.93	471.19	2.26
Luce fornice 2	469.00	471.19	2.19
Spalla sinistra (con effetto sopralzo locale per presenza pila)	469.00	470.48	1.48
Spalla sinistra	468.87	470.48	1.61
Centro luce	468.92	470.38	1.46
Spalla destra	468.82	470.29	1.47

Per quanto riguarda le condizioni di progetto a Bussoleno risulta evidente che la chiusura costituita dall'arginatura del PAI riporta in alveo il 40-50% della portata che precedentemente sarebbe defluita nella golena. Questa condizione determina un innalzamento dei livelli in alveo in quanto tutta la portata deve ora transitare attraverso il nuovo ponte. La verifica dell'attraversamento viene dunque fatta, analogamente a Susa utilizzando la seguente sezione grafica:



in questo caso il confronto con la verifica 1D è poco significativo poiché gli effetti 2D sulla sezione sono molto rilevanti: di fatto la SS24 “deriva” la portata dalla Dora poco più a monte e poi permane leggermente pensile rispetto al corso principale da cui risulta il livello più alto proprio in corrispondenza del fornice della SS24, d'altra parte la portata di rientro in alveo dai lati determina un “rigonfiamento” centrale del pelo libero.

Nel complesso i franchi con Tr 500 risultano i seguenti:

	Quota idrometrica (msm)	Quota intradosso (msm)	Franco (m)
Spalla sinistra	446.39	448.37	1.98
Centro luce	446.85	448.82	1.97
Spalla destra	446.34	449.27	2.93
Punti più sfavoriti per presenza di tubazioni sotto impalcato	446.39	447.77	1.38
	446.85	448.22	1.37
	446.34	448.67	2.33
fornice SS24	447.24	449.2 (min)	1.96

i franchi con Tr 200 risultano i seguenti:

	Quota idrometrica (msm)	Quota intradosso (msm)	Franco (m)
Spalla sinistra	445.66	448.37	2.71
Centro luce	446.11	448.82	2.71
Spalla destra	445.96	449.27	3.31
Punti più sfavoriti per presenza di tubazioni sotto impalcato	445.06	447.77	2.71
	445.51	448.22	2.71
	445.36	448.67	3.31
fornice SS24	446.49	449.2 (min)	2.51

In conclusione si segnala che i franchi calcolati sono sempre verificati rispetto ai criteri di verifica.

Lo studio delle condizioni di deflusso in corrispondenza dell'abitato di Bussoleno ha determinato anche l'analisi approfondita del comportamento idraulico del sottopasso situato sulla golena sinistra che attraversa il rilevato RFI ed in futuro il rilevato RFI-LTF di innesto nella stazione di Bussoleno.

Nelle condizioni di rilievo, come ricordato al punto 1.1 del presente paragrafo, il sottopasso in questione aveva una funzione di restituzione di una quota parte della portata esondata all'alveo della Dora. Nelle condizioni di arginatura di PAI (lato monte rilevato) questa funzione non vi è più poiché l'argine di fatto impedisce il passaggio dell'acqua da monte verso valle. Il manufatto tuttavia costituisce un varco nel rilevato ferroviario sensibile all'aumento di livello a valle ponti connesso con la deviazione in Dora di tutto il flusso. Si evidenzia il fatto che nelle presenti condizioni geometriche di simulazione il sottopasso risulta una via preferenziale di aggiramento delle difese PAI a monte RFI-LTF. Il livello di valle in corrispondenza del sottopasso infatti risulta pari a 443.00 msm per TR 200 anni e 443.45 msm per TR 500 anni a fronte di una quota terreno a tergo rilevato lato monte di circa 441.10. Per tale ragione, sebbene non di stretta competenza ferroviaria, si è ritenuto (nell'ipotesi che la Fascia B di progetto a monte del rilevato LTF- RFI di interconnessione venga realizzata prima del presente progetto) di prevedere in questa sede una adeguata protezione dell'accesso lato fiume mediante una corona di prolungamento del rilevato arginale esistente di valle, ritenuto caso utile per contribuire al completamento del sistema di difesa dell'abitato. Le quote di detto coronamento a protezione dell'accesso al sottopasso saranno pari a 444 msm con franco di m 1 rispetto al livello duecentennale.

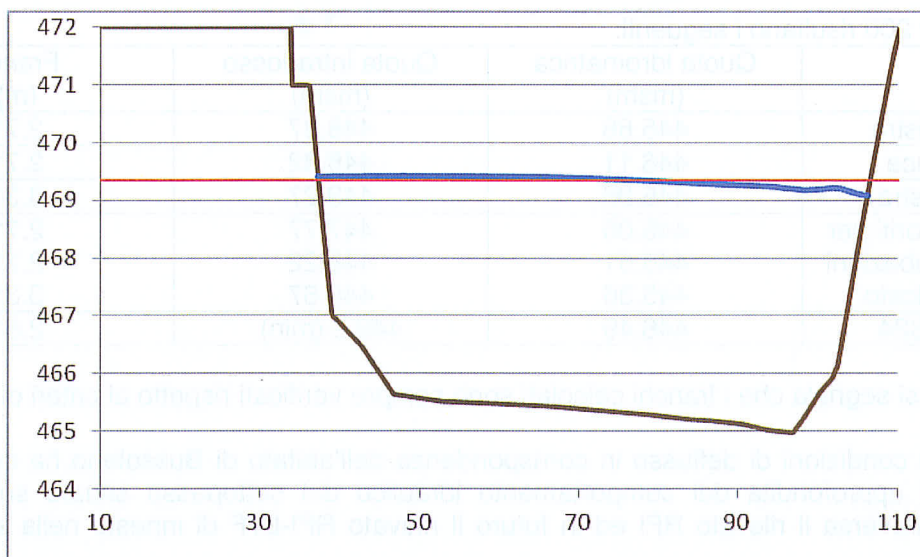
Una ultima precisazione riguarda i tempi di realizzazione dell'intervento a protezione del sottopasso: l'intervento va eseguito solo nel caso in cui si sia chiuso l'afflusso da monte e sussista il rischio di ingresso da valle delle acque, in caso contrario (non ancora realizzata la fascia B di progetto per ragioni che esulino dall'intervento presente) allora è più opportuno a nostro parere mantenere il fornice non protetto che favorisca lo scarico in Dora e non verso l'abitato di

Bussoleno. Tavole risultati PD2_C3A_(1182-1185)_22-02-10_30-(12-15)

3.2 Simulazione delle condizioni di progetto LTF con fascia B di progetto del PAI completata nell'ipotesi di otturazione completo dei fornicelli di fruizione della sponda sinistra, accesso e trasparenza idraulica del rilevato in corrispondenza del ponte LTF di Susa.

In queste condizioni estreme, la simulazione porta alle seguenti condizioni di verifica dell'attraversamento:

	Quota idrometrica (msm)	Quota intradosso (msm)	Franco (m)
Spalla sinistra	469.20	470.48	1.28
Centro luce	469.34	470.38	1.04
Spalla destra	469.11	470.29	1.18



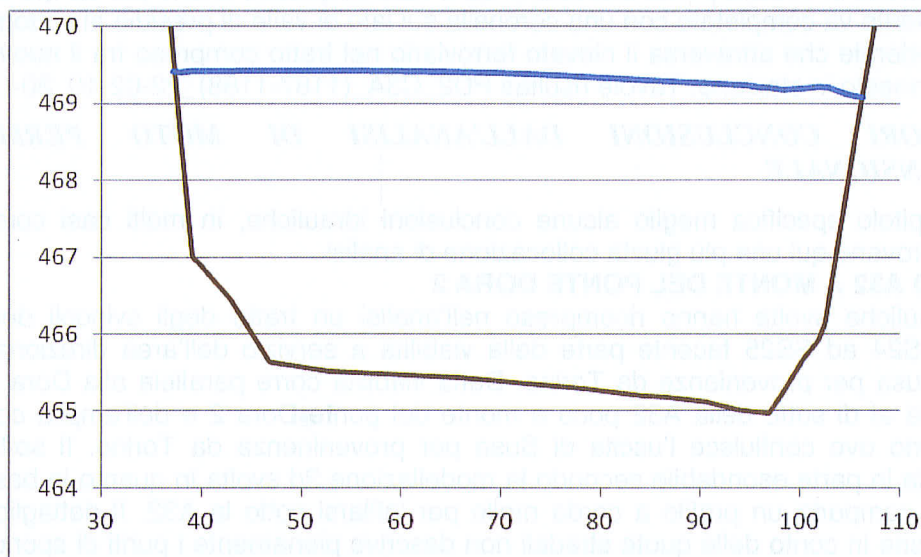
Il risultato è solo apparentemente paradossale in quanto la riduzione dei livelli (sebbene di poco) è da imputarsi al fatto che in regime di corrente lenta un restringimento di sezione comporta in corrispondenza dell'ostacolo un abbassamento di livello connesso con l'avvicinarsi alle condizioni di altezza critica. In effetti si segnala in parallelo un aumento (invero contenuto) delle velocità in corrispondenza dell'attraversamento rispetto alla soluzione 3.1. In conclusione la presente verifica non indica che l'assenza dei fornicelli sarebbe migliorativa ma dimostra che nella sostanza la presenza del fornicello non è essenziale al raggiungimento del franco di norma.

Oltre che da tutti gli altri punti di vista, dal punto di vista idraulico è comunque preferibile il mantenimento dei fornicelli proprio per non creare accelerazioni nella corrente, in corrispondenza dell'attraversamento. Tavola risultati PD2_C3A_1194_22-02-10_30-24

4.1 Simulazione delle condizioni di progetto LTF nelle condizioni transitorie di cantiere:

Rispetto alla simulazione 1D le condizioni di cantiere per il ponte di Susa, sviluppato lo studio planimetrico degli ingombri, hanno dimostrato una notevole severità. La larghezza d'alveo utile nel punto più sfavorito risulta di soli 30 m circa. Accade infatti che l'alveo risulta contemporaneamente ristretto dalla presenza del rilevato Dora 1 in sinistra (che di fatto chiude anche i fornicelli del ponte LTF) e dalla protezione della spalla destra del nuovo ponte LTF. Il restringimento determina a monte un rigurgito che si sviluppa per buona parte al di sotto del nuovo ponte LTF. Le velocità sono ridotte a monte (2,5 m/s) mentre in corrispondenza dello sbocco del restringimento si ha una

accelerazione sino a 6 m/s con passaggio di stato da corrente lenta a veloce. La portata con Tr 50 anni in tal caso determina dei livelli notevoli; si riporta nel seguito la verifica del ponte di Susa nelle suddette condizioni.



	Quota idrometrica (msm)	Quota intradosso (msm)	Franco (m)
Spalla sinistra	469.40	470.48	1.08
Centro luce	469.38	470.38	1.00
Spalla destra	469.09	470.29	1.20

In conclusione le condizioni idrauliche al di sotto del ponte sono tali da generare dei livelli paragonabili alle condizioni cinquecentennali e mantenere un franco prossimo al metro.

Per quanto riguarda la sensibilità di altre aree di cantiere alla portata di piena con tempo di ritorno di 50 anni, i cantieri a monte Loc San Giuliano non sono raggiunti direttamente dalle acque, tutta l'area dell'attuale "Guida Sicura" compresa tra A32 ed SS24 risulta non esondabile e difesa dalla A32, l'area denominata Stoccaggio Scotico compresa tra A32 ed SS24 nei pressi del viadotto Cattero della SS24 in loc Coldimosso è soggetta ad un livello cinquantennale pari a 454.50 al di là del rilevato della SS24 che protegge l'area. Le quote di piano campagna interne all'area risultano invece comprese tra 453.40 sino a 455.0. Vanno pertanto verificati i possibili varchi di ingresso delle acque, in particolare dove il rilevato della SS24 diviene viadotto verso monte; in questo punto infatti il livello è circa 454.9 ed il terreno 455.10.

L'area di cantiere ubicata nei pressi della spalla destra a monte del ponte di Bussoleno è soggetta ad un livello cinquantennale massimo pari a 446.9 (acque ferme sul lato di monte), la quota assunta per le arginature risulta pari a 448, la quota viabilità di accesso risulta pari a 447 ma in corrispondenza dell'accesso, collocato più a valle, il livello risulta pari a 445.90. Pertanto l'area risulta difesa con franchi adeguati.

L'area sulla sponda opposta a sud ovest della centrale elettrica RFI in Loc Isolabella non risulta esondabile direttamente, poiché presenta quote elevate, ma risulta isolata dal punto di vista dell'accessibilità dei luoghi in condizioni di piena in assenza di interventi. Per questa particolare area ove i lavori iniziassero a seguito della realizzazione delle previsioni del PAI la protezione sarebbe assicurata dalla nuova fascia B, nel caso contrario la necessità di poter accedere al rilevato e di poter lavorare lungo quest'ultimo ha portato alla proposta progettuale di realizzare una duna temporanea che sostituirebbe in toto la funzionalità dell'argine AIPO con quota di coronamento pari a 448, e pertanto in grado di contenere una piena con TR 50 anni. Il livello a monte duna risulta 445.87 con franco pari a 2.13. Questo intervento costituisce una protezione per

tutta l'area di lavoro della zona di innesto nella stazione di Bussoleno. La protezione non può sostituire in toto l'arginatura di PAI in quanto il rilevato ferroviario RFI della linea locale Susa Bussoleno risulta comunque in parte aggirato alimentando l'esondazione verso l'abitato. Considerato il livello in sinistra ponte Bussoleno ed a valle di questo, anche per tempo di ritorno di 50 anni l'intervento va completato con una coronella sul lato di valle di presidio al sottopasso della viabilità interpodereale che attraversa il rilevato ferroviario nel tratto compreso tra il nuovo ponte di Bussoleno e l'innesto in stazione. Tavole risultati PD2_C3A_(1187-1188)_22-02-10_30-(17-18)

7.2.2 ULTERIORI CONCLUSIONI DALL'ANALISI DI MOTO PERMANENTE BIDIMENSIONALE

Il presente capitolo specifica meglio alcune conclusioni idrauliche, in molti casi comuni a più soluzioni, che trovano qui una più giusta collocazione di analisi.

SOTTOPASSO A32 A MONTE DEL PONTE DORA 2

Le analisi idrauliche svolte hanno ricompreso nell'analisi un tratto degli svincoli della attuale raccordo da SS24 ad SS25 facente parte della viabilità a servizio dell'area direzionale Sita f e dell'uscita di Susa per provenienze da Torino. Detta viabilità corre parallela alla Dora in sponda sinistra e passa al di sotto della A32 poco a monte del ponte Dora 2 e dell'amplia conversione verso S Giuliano ove confluisce l'uscita di Susa per provenienza da Torino. Il sottopasso in questione risulta in parte esondabile secondo la modellazione 2d svolta in quanto in base ai rilievi a disposizione comporta un profilo a corda molle per infilarsi sotto la A32. Il dettaglio di rilievo mentre tiene bene in conto delle quote stradali non descrive pienamente i punti di sponda che nel tratto ove la strada risulta in abbassamento sono più alti della strada stessa come si evince dalla presente immagine dello stato attuale:



a strada dopo il passaggio sotto la A32 risale. Le quote acqua più gravose per la strada stessa risultano:

Tempo di ritorno (anni)	simulazione	livello piena 2D (msm)
200	1.1 rilievo	472.38
500	1.1 rilievo	473.00
200	3.1 prog LTF + PAI	472.36
500	3.1 prog LTF + PAI	472.96

Le quote strada nel punto più depresso all'imbocco del sottopasso risultano 472.25.

In conclusione l'esondazione risulta di pochi cm su Tr 200 anni (senza considerare l'effetto di arginatura di sponda) mentre risulta di 70-75 cm per Tr 500 anni.

Considerato che la viabilità risulta inserita nelle opere modificate dalle condizioni di progetto, si ritiene corretto dare protezione alla stessa realizzando lungo la viabilità attuale un arginello impostato con sommità a quota 473.40 lungo circa 100 m che corre lungo l'attuale viabilità. Tale intervento consentirà il franco di 1 m rispetto al livello TR 200 e conterà il livello Tr 500.

RILEVATO FERROVIARIO IN INNESTO NELLA STAZIONE DI BUSSOLENO

L'analisi della protezione, esistente o meno, sul rilevato di innesto nella stazione di Bussoleno merita un inciso a se poiché presenta alcuni elementi significativi soprattutto alla luce della programmazione urbanistica ed il dissesto esistente a carico dell'abitato di Bussoleno.

Il rilevato ferroviario di suo presenta quote fissate dal profilo di raccordo.

Risulta particolarmente significativa la presente tabella di raffronto relativa ai livelli riscontrabili nei due casi principali simulati in corrispondenza del sottopasso della SS25 alla linea in Loc Isolabella.

Tempo di ritorno (anni)	simulazione	Livello piena 2D (msm) sottopasso SS25 lato Isolabella	livello piena 2D (msm) sottopasso SS25 lato Dora
200	1.1 rilievo	442.72	442.15
500	1.1 rilievo	443.08	442.7
200	3.1 prog LTF + PAI	440.75	442.84
500	3.1 prog LTF + PAI	441.98	443.26

Si osserva che in condizioni di rilievo il flusso avviene dal lato Isolabella verso il lato Dora essendovi una cospicua esondazione in arrivo da monte, inoltre l'argine provvisorio esistente tra la linea e la Dora nel tratto compreso tra ponti ferroviari e ponte Micellone costituisce una soglia che, in parte tracimata, rende tuttavia preferenziale il rientro delle acque in alveo a valle della traversa del ponte Micellone stesso verso zona della stazione e di Strada Susa.

Nelle condizioni di progetto l'arginatura di monte prevista dal PAI comporta un cospicuo miglioramento delle condizioni di dissesto per la Loc Isolabella, nel contempo la maggiore portata convogliata in alveo determina un aumento dei livelli lato fiume. L'arginatura provvisoria esistente tra nel tratto compreso tra ponti ferroviari e ponte Micellone in tal caso svolge una corretta funzione idraulica nel senso che contiene i livelli per TR 200 anni mentre risulta tracimata da fiume verso abitato per TR 500 anni.

Nelle condizioni di progetto le condizioni di dissesto residue sull'area della Loc Isolabella e campo sportivo, in parte mitigate dall'eliminazione dell'esondazione diretta di monte, sono ancora influite dai livelli di Dora: per Tr 500 anni l'argine provvisorio nel tratto tra ponti ferroviari e ponte Micellone è infatti tracimato, per Tr 200 anni l'argine provvisorio nel tratto tra ponti ferroviari e ponte Micellone contiene i livelli, pertanto in queste condizioni a tergo argine influiscono solo i livelli a valle ponte Micellone ad acque ferme a ritroso.

La quota dell'arginatura nel tratto tra ponti ferroviari e ponte Micellone risulta 443.20 circa

Per quanto riguarda le quote del rilevato ferroviario si evidenzia che in corrispondenza del sottopasso SS25 si ha 441.90-441.70 pertanto il rilevato risulta superiore al livello di piena per TR 200 anni nelle condizioni di progetto e argine PAI. Nei pressi dell'incrocio di Via Moletta con Via Cascina del Gallo il medesimo rilevato si porta a 440.95 ovvero ancora al di sopra del suddetto livello di piena, pertanto, (nelle condizioni 3.1 tr 200 anni) l'unico passaggio significativo di interconnessione tra monte e valle è il suddetto sottopasso della SS25 che presenta quote viabilità intorno a 436.1. Nei restanti casi il rilevato è dunque tracimato, solo da monte in condizioni di rilievo, dal lato dell'arginatura provvisoria esistente nel tratto compreso tra ponti ferroviari e ponte Micellone nelle condizioni di progetto e argine PAI per Tr 500 anni.

Nelle tavole dei risultati ed in particolare nella PD2_C3A_1182_22-02-10_30-12 verrà rappresentato un opportuno graficismo di mascheratura per evidenziare la porzione di rilevato effettivamente fuori dall'acqua nelle varie condizioni di piena tenuto conto delle approssimazioni connesse con la maglia di triangolazione.

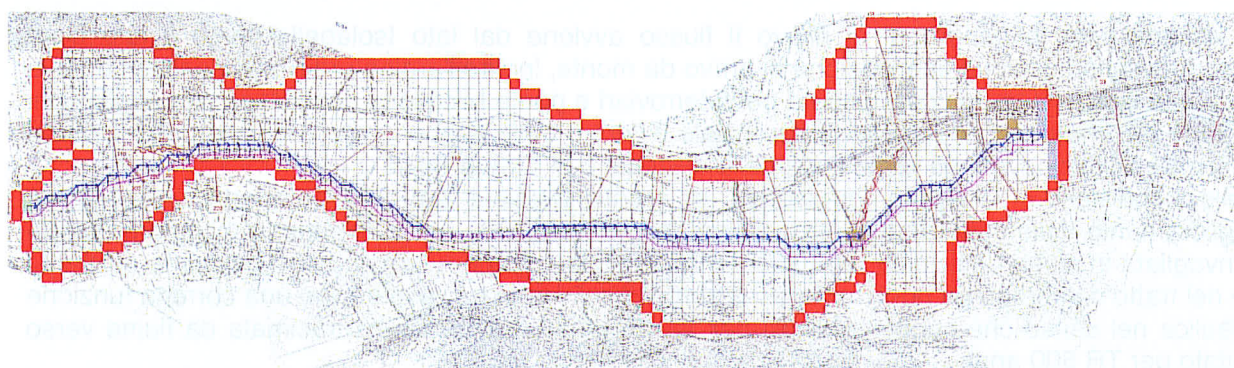
In conclusione l'attendibilità dei precedenti risultati è certamente buona ma occorre considerare che, il modello 2D implementato a valle ponte Micellone si avvicina alle condizioni di contorno di valle del tratto modellato ad una distanza superiore a 800 m dalla zona dei ponti, (area di reale interesse), e che pertanto occorre una certa cautela nel valutare le reali condizioni di dissesto.

In particolare, pur senza poter quantificare un possibile errore specifico, va correttamente evidenziato che localmente la maglia di triangolazione può risultare meno raffinata. Nello specifico si ritengono sovrastimati i livelli per Isolabella e campo sportivo nelle condizioni di progetto 3.1 con TR 200 anni in quanto si richiede al modello di propagare a monte condizioni di acque ferme con

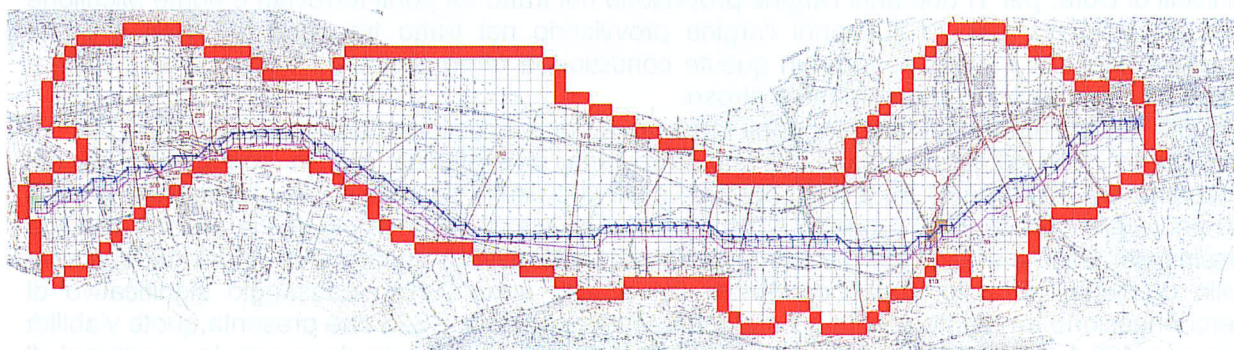
“pochi” nodi di interconnessione verso valle collocati in corrispondenza della SS25 poco a valle dell’incrocio con la viabilità di accesso al ponte Micellone.

7.2.3 MOTO VARIO BIDIMENSIONALE

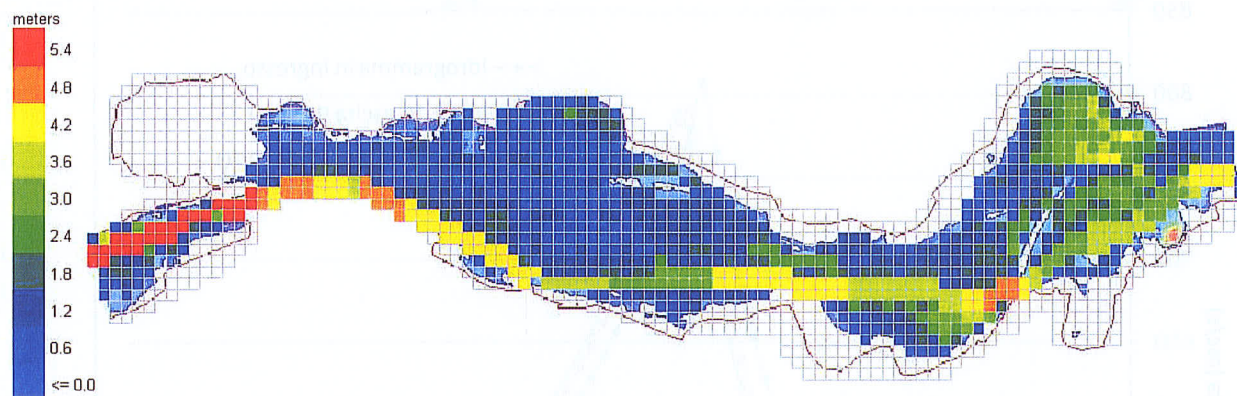
Come illustrato in precedenza, l’analisi in condizioni di moto vario bidimensionale consente di effettuare la valutazione dell’effetto sull’idrogramma di piena che gli interventi generano. Il modello bidimensionale di moto vario utilizzato è stato confrontato, anche in tal caso, con le precedenti modellazioni al fine di valutare la congruenza dei risultati. Il modello FLO 2D alle differenze finite su celle a dimensione costante, ancorchè di minor dettaglio planimetrico, presenta comunque una ottima congruenza per quanto attiene alla possibilità di confronto con gli altri modelli. Nelle condizioni di rilievo la risultante della geometria proposta è la seguente



Nelle condizioni di geometria analoghe al caso 3.1 del moto 2D stazionario si ha:

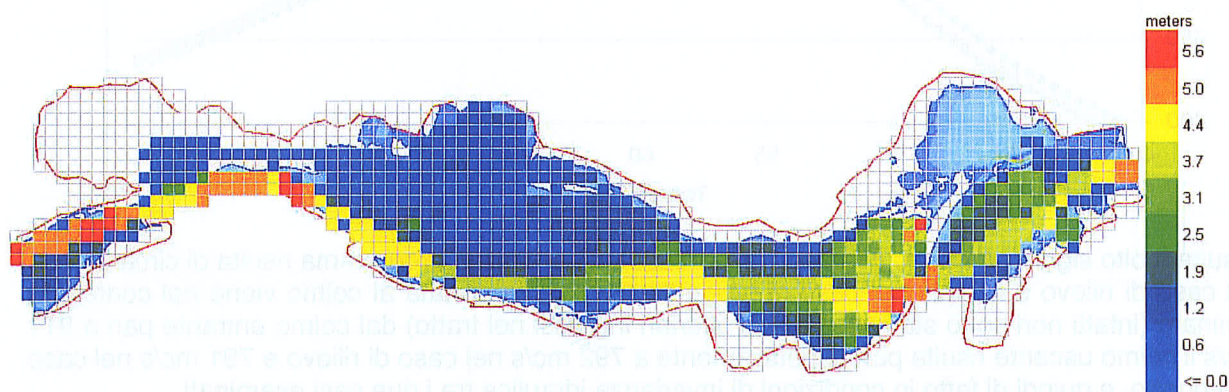


I risultati ottenuti hanno portato alla definizione degli idrogrammi in ingresso ed uscita dalle due configurazioni geometriche considerate ed al successivo confronto dei risultati. Dal punto di vista planimetrico risulta di un certo interesse confrontare l’area esondata per tempo t pari al colmo rispetto all’area esondata nel caso stazionario corrispondente. Per le condizioni di rilievo si ha la seguente sovrapposizione planimetrica:



La sovrapposizione, è estremamente corrispondente; considerata la dimensione della cella adottata. Come prevedibile il caso stazionario è leggermente più severo in termini di estensione delle aree coinvolte dall'evento cinquecentennale.

Per quanto riguarda la sovrapposizione della soluzione di moto vario al colmo con le condizioni di geometria analoghe al caso 3.1 del moto 2D stazionario si ha:

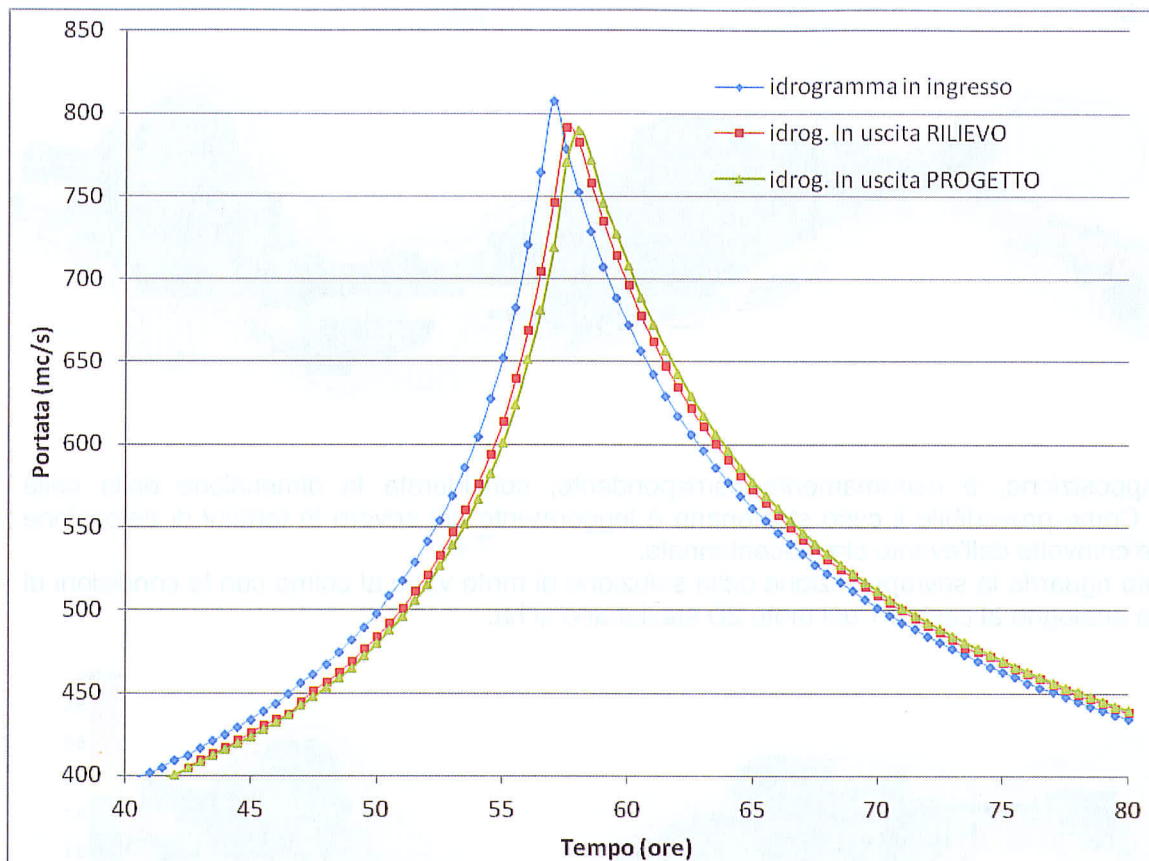


Si conferma anche in tal caso una buona corrispondenza; nel caso del moto vario il modello a Bussoleno non mostra fenomeni di esondazione a ritroso poiché non è "sensibile" al sottopasso della SS24. A monte invece si verificano alcune celle "bagnate" per ragioni di assegnazione della quota arginale PAI.

Le risultanze ottenute sono da considerarsi cautelative ai fini delle modifiche dell'idrogramma poiché nel caso di progetto non vengono sfruttati completamente dei volumi di invaso teoricamente disponibili.

In conclusione (oltre alla scontata stabilità numerica dei calcoli svolti) il confronto eseguito indica che i risultati, pur nei limiti della rappresentazione planimetrica, costituita da una cella di 50 m di lato, sono accettabili dal punto di vista della taratura del calcolo dell'idrogramma.

Il confronto degli idrogrammi calcolati nel caso delle condizioni di rilievo e di progetto risulta riassumibile nel seguente grafico.



Risulta molto significativo che il ritardo tra ingresso ed uscita dell'idrogramma risulta di circa 35 min nel caso di rilievo e 45 min nel caso di progetto. Il valore di portata al colmo viene nel contempo laminato (infatti non sono stati considerati ulteriori ingressi nel tratto) dal colmo entrante pari a 811 mc/s il colmo uscente risulta pari rispettivamente a 792 mc/s nel caso di rilievo e 791 mc/s nel caso di progetto, e quindi di fatto in condizioni di invarianza idraulica tra i due casi esaminati.

L'area inondata passa dai 230 ha di rilievo ai 202 ha nel caso di progetto, tuttavia l'innalzamento del livello medio su alcune porzioni significative dell'area esaminata, connesso con una riduzione delle massime velocità medie, determina nella sostanza una significativa invarianza della capacità di laminazione.

I precedenti risultati vanno dunque intesi semplicemente come una valutazione attendibile del mantenimento dell'attuale capacità di laminazione del corso d'acqua. In conclusione non risultando alterazioni significative nei valori dell'idrogramma si può ritenere invariata la capacità di invaso nel tratto considerato anche nell'ipotesi di realizzare tutti gli interventi sia a carico LTF sia previsti dal PAI.

8. CONCLUSIONI

Le opere in progetto risultano compatibili dal punto di vista idraulico sotto le condizioni di massima piena ipotizzate sia per i franchi calcolati in corrispondenza delle opere di attraversamento, sia per il miglioramento dei franchi o delle condizioni di deflusso che la realizzazione delle opere comporterà per le aree circostanti.

In particolare il ponte di Susa risulta compatibile nell'ambito di un complessivo riassetto dell'intero settore d'alveo compreso tra il ponte Dora 2 a monte ed il ponte Dora 1 a valle. L'analisi svolta ha consentito di valutare anche l'effetto delle condizioni transitorie di cantiere; in tal caso si evidenzia

la configurazione idraulica più critica tra quelle analizzate che tuttavia consente comunque il raggiungimento delle condizioni di pericolosità accettabili e dei franchi minimi rispetto alle strutture. Per quanto riguarda i ponti a monte del concentrico di Bussoleno, anche in tal caso si evidenzia la compatibilità degli attraversamenti; l'intervento sarà connesso anche ad un miglioramento delle condizioni di rigurgito presente a monte dei ponti del quale beneficerà l'abitato stesso. Pertanto in conclusione l'opera infrastrutturale è da ritenersi compatibile da un punto di vista idraulico sulla base delle presenti indagini condotte nel rispetto della la normativa idraulica vigente e coerenti e compatibili con l'assetto di progetto previsto dal PAI.

