

REGIONE PIEMONTE  
Provincia di Cuneo  
**COMUNE DI ALBA**

**IMPIANTO IDROELETTRICO  
SUL FIUME TANARO  
NEL COMUNE DI ALBA**

**PROGETTO DEFINITIVO**

Elaborato n.

**A1-10**

**"Studio di compatibilità con dissesto  
esistente"**

8 luglio 2015

IL COMMITTENTE:

**Tanaro Power S.p.A.**

Via Vivaro 2  
12051 - Alba (CN)

I TECNICI INCARICATI:

**Dott. Ing. Sergio SORDO**

**Dott. Ing. Piercarlo BOASSO**

**SR STUDIO**

STUDIO DI INGEGNERIA  
Dott. Ing. Sergio Sordo  
C.so Langhe, 10 - 12051 Alba (CN)  
tel: 0173 364823  
e-mail: sordosergio@srstudio.info



769

ORDINE DEGLI INGEGNERI  
DELLA PROVINCIA DI CUNEO  
Dott. Ing. Sergio Sordo

**GAPE s.a.s.**

Dott. Ing. Piercarlo Boasso  
Via Accame, 20 - 17027 Pietra Ligure (SV)  
tel: 335 6422389  
e-mail: piercarlo.boasso@alice.it



A984

ORDINE DEGLI INGEGNERI  
DELLA PROVINCIA DI CUNEO  
Dott. Ing. Piercarlo Boasso

**SOMMARIO**

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
1.1. PIANO REGOLATORE GENERALE DEL COMUNE DI ALBA .....	2
1.2. PIANO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI).....	4
<b>2. CARATTERISTICHE IDROLOGICHE DEL BACINO SOTTESO ALL'OPERA DI PRESA .....</b>	<b>5</b>
<b>3. VALUTAZIONE DEI LIVELLI DI PIENA IN CONDIZIONI DI MOTO PERMANENTE ASSOCIATI AI VALORI DI <math>Q_{cmax}</math> CON I TEMPI DI RITORNO ASSEGNATI .....</b>	<b>7</b>
<b>4. DEFINIZIONE QUALITATIVA DEI PARAMETRI GEOTECNICI DEI DEPOSITI ALLUVIONALI.....</b>	<b>15</b>
<b>5. ASPETTI RELATIVI ALLA TENDENZA EVOLUTIVA PLANOALTIMETRICA DEL CORSO D'ACQUA.....</b>	<b>19</b>
<b>7. LIVELLO DI COMPATIBILITA' DELLE OPERE CON IL DISSESTO IN ATTO .....</b>	<b>22</b>

## **1. PREMESSA**

La presente relazione viene redatta dagli scriventi al fine di analizzare la compatibilità con il dissesto esistente dell'impianto idroelettrico in progetto sul Fiume Tanaro in comune di Alba.

Il progetto è stato commissionato dalla società Tanaro Power S.p.A., avente sede legale ad Alba, in Via Vivaro n. 2 (P.I. 03436270049).

L'impianto si compone di una traversa fluviale di tipo mobile ad assetto variabile costituita da una platea fissa in c.a. avente una quota in sommità di 152.00 m s.l.m., sormontata da uno sbarramento mobile a doppia falda completamente abbattibile, da una centrale realizzata in area golenale sinistra, da un canale di adduzione e da un canale di scarico. Sono inoltre previsti manufatti accessori quali la rampa di risalita per l'ittiofauna e le opere per la regimazione delle portate.

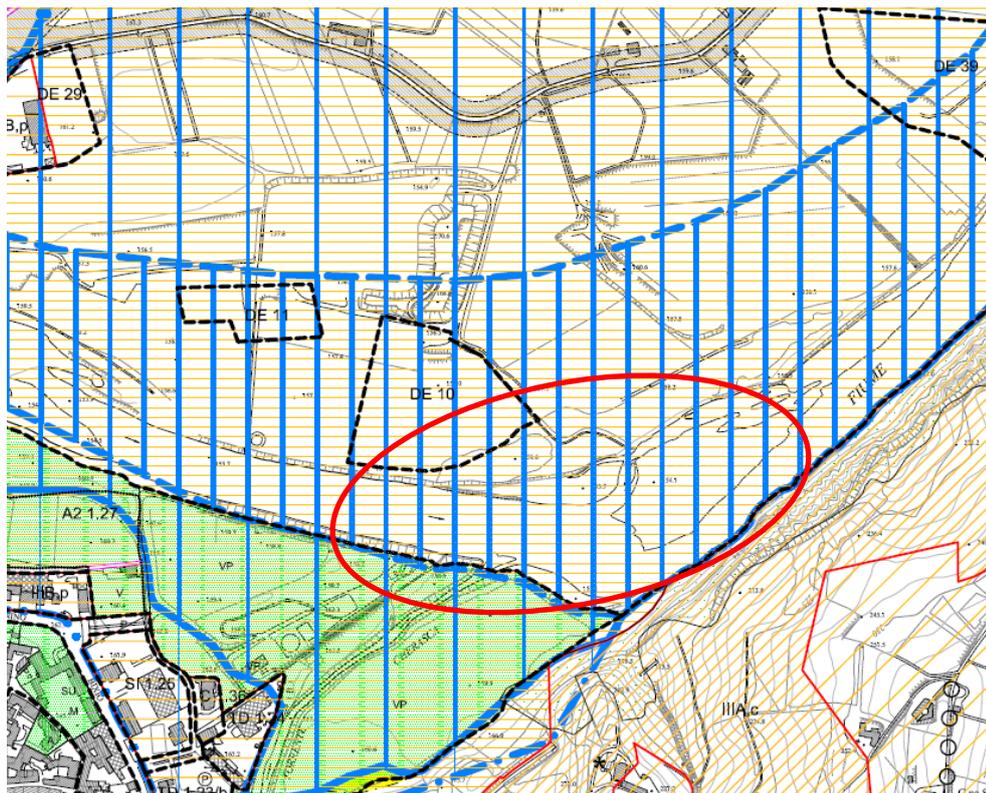
### **1.1. PIANO REGOLATORE GENERALE DEL COMUNE DI ALBA**

Il progetto interessa il territorio comunale di Alba.

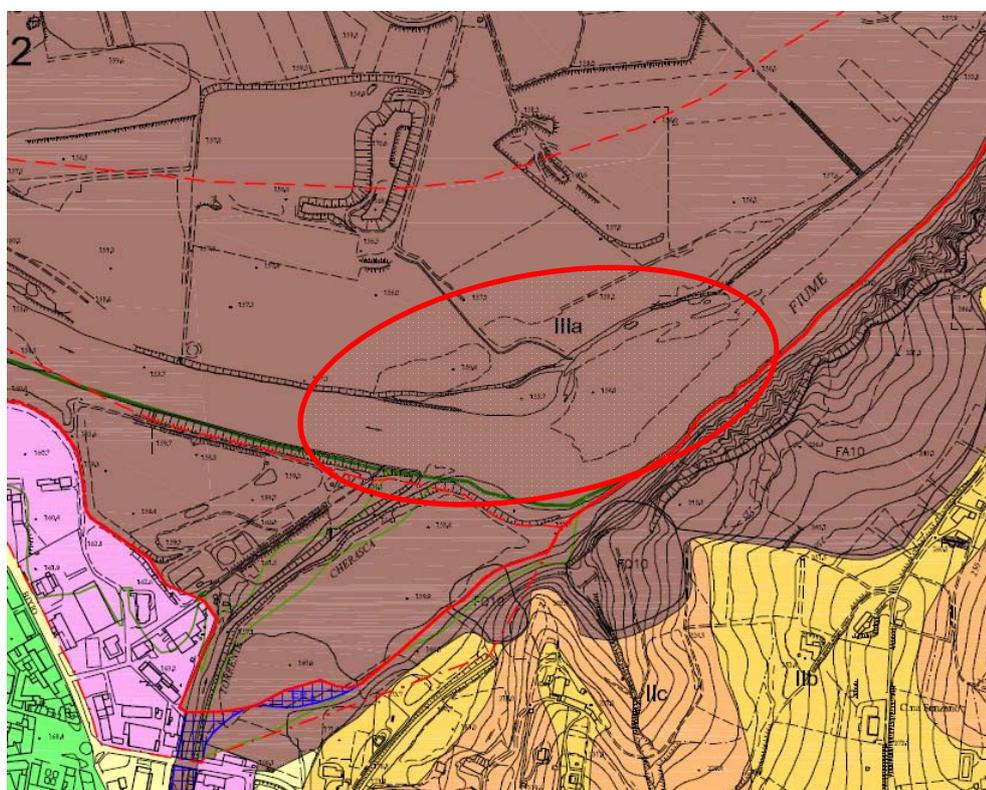
Il documento vigente è il Piano Regolatore Generale Comunale del Comune di Alba di cui si riporta un estratto in Fig. 1.1.1.

Dalla Fig. 1.1.1 e dall'elaborato A3-4a "Planimetria di inquadramento urbanistico – P.R.G.C. vigente" emerge che la zona di intervento, individuata in rosso, ricade in classe IIIA "porzioni di territorio prevalentemente inedificate a pericolosità geomorfologica alta".

È inoltre in fase di approvazione il nuovo P.R.G.C. della città di Alba di cui si riporta un estratto in Fig. 1.1.2. Con riferimento al Piano Regolatore in progetto, dalla Fig. 1.1.2 e dall'elaborato A3-4b "Planimetria di inquadramento urbanistico – P.R.G.C. in progetto", emerge che la zona di intervento, individuata in rosso, ricade in classe IIIA "porzioni di territorio (inedificate o con rare edificazioni) che presentano caratteri geomorfologici o idrogeologici che le rendono inidonee a nuovi insediamenti, fatto salvo quanto previsto dall'art. 74 delle N.T.A.".

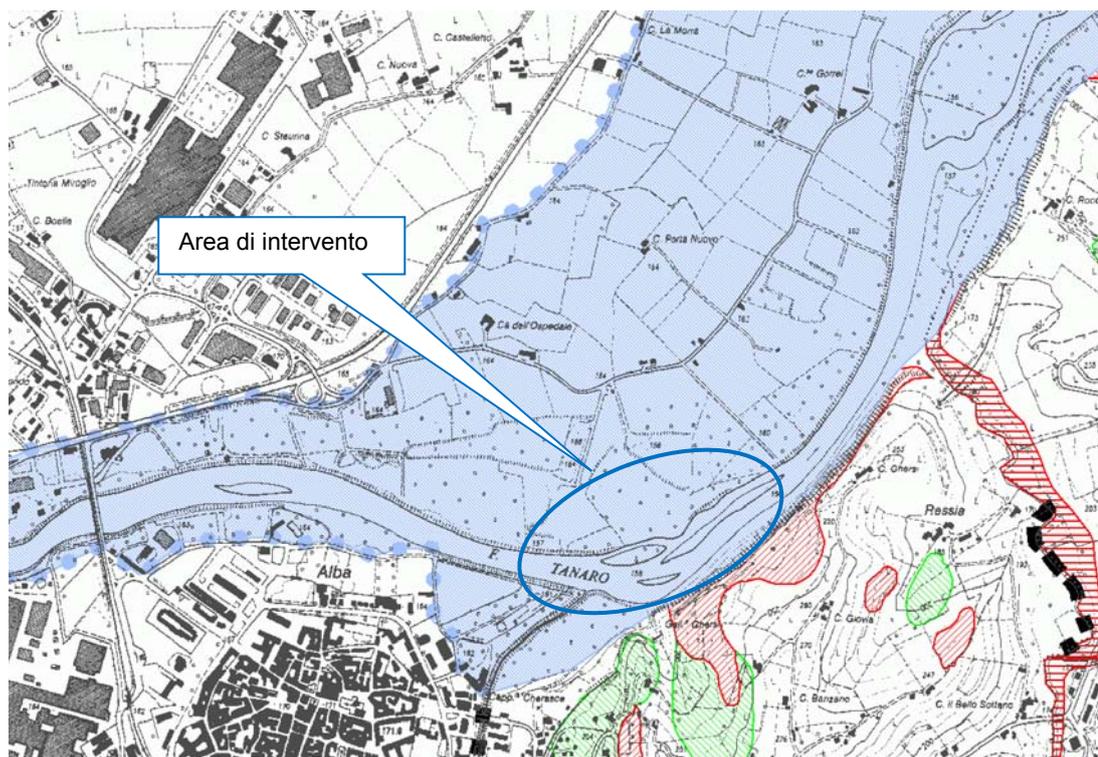


**Fig. 1.1.1 Estratto dal P.R.G.C. vigente del Comune di Alba.**



**Fig. 1.1.2 Estratto dal P.R.G.C. in fase di approvazione del Comune di Alba.**





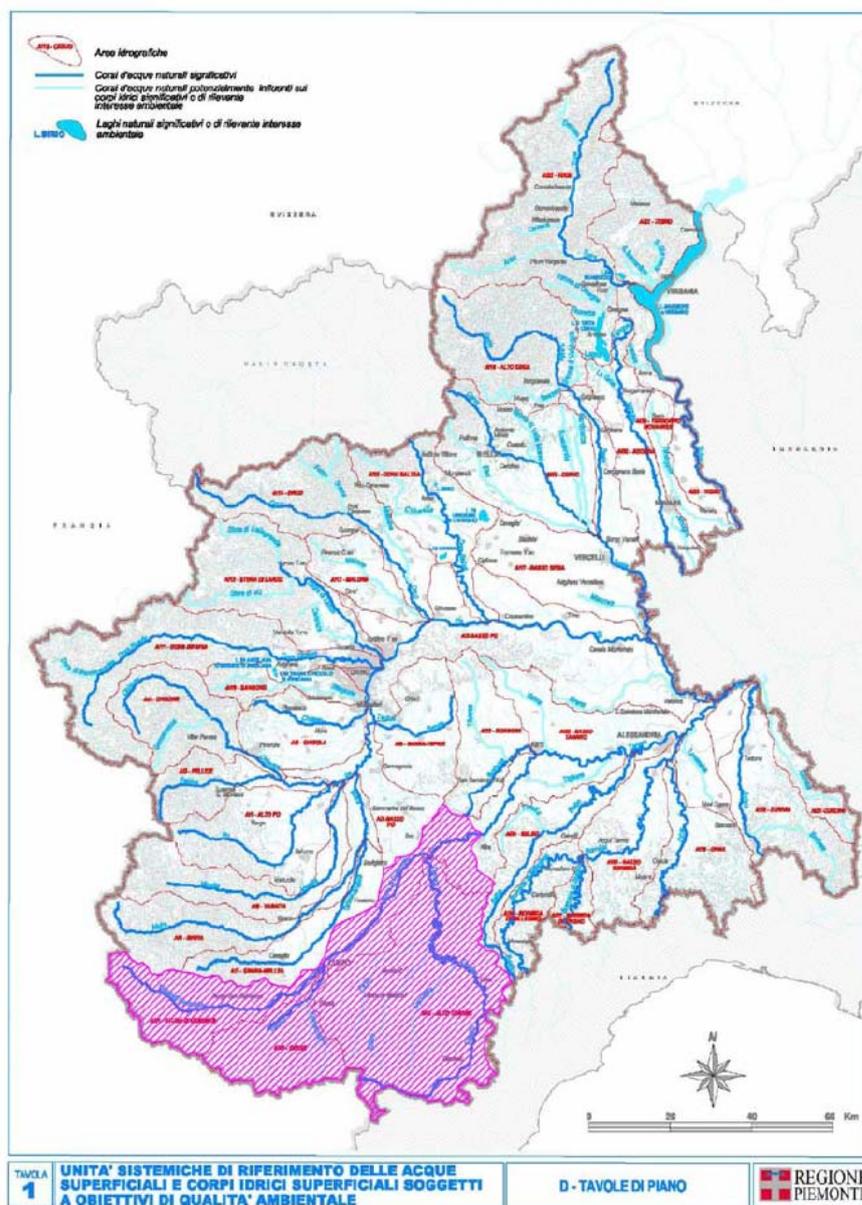
**Fig. 1.2.2. Delimitazione delle aree in dissesto (estratto non in scala dell'atlante dei rischi idraulici e idrogeologici del PAI, Foglio 193, Sez. IV). Le zone tratteggiate in rosso individuano le aree a pericolosità molto elevata, mentre quelle in verde le aree a pericolosità elevata. L'area in blu rappresenta la porzione di territorio interessata dalla delimitazione delle fasce fluviali.**

## **2. CARATTERISTICHE IDROLOGICHE DEL BACINO SOTTESO ALL'OPERA DI PRESA**

Le caratteristiche idrologiche del bacino del Fiume Tanaro che vengono adottate nei calcoli delle portate idrologiche sono riferite alla sezione di chiusura posta in corrispondenza della sezione di presa di Alba.

<b>Corpo idrico</b>	<b>Superficie bacino (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Quota media (m s.l.m.)</b>
Tanaro	3380	1051

**Tab. 2.1 Caratteristiche idrologiche del bacino**



**Fig. 2.1** Localizzazione spaziale del bacino del F. Tanaro chiuso ad Alba, poco a monte della confluenza con il T. Cherasca (supporto cartografico: Tavole di piano del PTA).

### **3. VALUTAZIONE DEI LIVELLI DI PIENA IN CONDIZIONI DI MOTO PERMANENTE ASSOCIATI AI VALORI DI $Q_{cmax}$ CON I TEMPI DI RITORNO ASSEGNATI**

La valutazione dei livelli di piena viene effettuata in moto permanente in quanto questo tipo di moto rappresenta una buona approssimazione del moto che si manifesta negli alvei naturali dei corsi d'acqua.

Con un modello monodimensionale di moto permanente è stato simulato il comportamento idraulico del tratto di Fiume Tanaro compreso tra il comune di Roddi (località cascina Ambrogio) e il comune di Neive (località cascina Boschi), per una lunghezza complessiva di poco inferiore ai 17 km.

Le simulazioni in moto permanente consentono una rappresentazione dei livelli di piena nelle sezioni del fiume più raffinata di quanto non lo permetta la schematizzazione del moto uniforme nelle singole sezioni dell'alveo, in quanto con esso è possibile calcolare i livelli tenendo in conto anche le altre sezioni di verifica e le singolarità idrauliche che ci possono essere nel tratto considerato.

Il problema del tracciamento del profilo di superficie libera di un corso d'acqua naturale in moto permanente con una data portata  $Q$  si risolve con procedimenti di calcolo numerico.

L'operazione richiede preliminarmente un rilievo dettagliato dell'alveo per suddividere il corso d'acqua in tronchi di lunghezza  $\Delta s$ , tali da poter confondere i valori medi della sezione e della velocità in ciascun tronco con i valori ad un estremo. Anche la natura dell'alveo deve conservarsi, entro certi limiti, in ciascun tronco.

Eseguita la suddivisione, è necessario il rilievo dettagliato delle caratteristiche geometriche di tutte le sezioni di separazione dei vari tratti.

Siano (i) e (i+1) due sezioni consecutive, distanti  $\Delta x$  in asse, nella prima delle quali siano note tutte le grandezze idrauliche.

La variazione di carico idraulico  $\Delta H$  tra le due sezioni si può calcolare mediante la seguente relazione alle differenze finite:

$$\Delta H = -[j]_i \cdot \Delta x$$

Si può ottenere così il carico  $H_{i+1}$  della sezione  $i+1$  e conseguentemente il carico piezometrico  $h_{i+1}$ , che rappresenta la quota del pelo libero rispetto ad un piano di riferimento orizzontale, risolvendo l'equazione:

$$H_{i+1} = h_{i+1} + \frac{Q^2}{2g \cdot \Omega_{i+1}^2}$$

E' possibile in questo modo ricavare il carico piezometrico della corrente nelle sezioni di rilievo e da questo calcolare le caratteristiche idrauliche che il fiume ha nel tratto in esame.

Questa trattazione teorica relativa ad alvei omogenei è stata generalizzata considerando anche il deflusso golenale che si manifesta per portate al colmo dell'entità di quelle in oggetto.

Per il calcolo dei livelli e delle principali caratteristiche del moto è stato utilizzato il software HEC-RAS sviluppato dall'U.S. ArmyCorps of Engineers, nella versione 4.1.

Venendo nel dettaglio del modello idraulico-numerico si è compiuta la modellazione del moto permanente del Fiume Tanaro lungo un tratto di asta avente una lunghezza di circa 16.9 km.

Nel modello sono state implementate circa 70 sezioni trasversali del Fiume Tanaro, rappresentative sia dell'alveo che delle zone golenali, come indicato nella planimetria allegata alla relazione idrologico-idraulica.

Le scabrezze adottate hanno un significato globale all'interno della schematizzazione in alveo principale e in aree golenali e sono state dedotte dall'analisi del terreno e dalla letteratura tecnica dalla Direttiva "*Criteria per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B*" dell'Autorità di bacino del Fiume Po e cioè:

**per l'alveo principale:**

n	= 0.06m <sup>-1/3</sup> s	secondo Manning
C	= 1/n = 16.5 m <sup>1/3</sup> /s	secondo Gauckler Strickler

**per le aree golenali:**

$n = 0.125m^{-1/3}s$  secondo Manning

$C = 1/n = 8 m^{1/3}/s$  secondo Gauckler Strickler

I valori di scabrezza possono sembrare piuttosto elevati (secondo la definizione di Manning), ma derivano direttamente da operazioni di taratura effettuate con riferimento alle portate di piena del Fiume Tanaro ed eseguite in seguito all'evento alluvionale del 1994.

Da tali studi emerge, infatti, che per portate di piena di notevole entità i coefficienti di scabrezza, intesi nella definizione di Manning, che si osservano sono relativamente elevati. Da quanto sopra, ne deriva che i valori del coefficiente di scabrezza che si calcolano in fase di taratura sono da ritenersi corretti, a condizione di svincolarsi dal significato fisico del coefficiente di scabrezza. In tal modo essi sono da considerarsi come una sorta di "coefficienti globali" in grado di tenere conto dell'insieme dei complessi fenomeni dissipativi che si verificano durante il passaggio di un evento di piena di notevole importanza.

Occorre, pertanto, considerare alcuni dei meccanismi reali non simulati dal modello che possono aver contribuito a produrre livelli idrici maggiori a parità di portate, e che quindi si traducono in una riduzione del coefficiente  $c$  di Strickler rispetto ai valori standard comunemente reperibili in letteratura tecnica.

Questi meccanismi sommariamente sono i seguenti:

- presenza notevolissima di trasporto solido in sospensione, capace di modificare la densità della corrente e di incrementare i meccanismi dissipativi all'interno della massa fluida, indipendentemente dalla scabrezza fisica del contorno bagnato;
- presenza di trasporto solido flottante, soprattutto tronchi d'albero, interferente con le pile dei ponti, con conseguenti temporanei effetti di rigurgito a monte superiori rispetto a quelli desumibili dalla geometria delle pile stesse;

- dinamica fluviale tutt'altro che gradualmente variata, caratterizzata da vorticosità, effetti dovuti alla curvatura dei meandri e irregolarità causate da bruschi restringimenti.

L'elaborazione è stata compiuta partendo da valle e risalendo verso monte; infatti il Fiume Tanaro, nel tratto esaminato e nelle condizioni di piena ipotizzate, è un corso d'acqua a regime fluviale ed il moto dell'acqua avviene in corrente lenta con il profilo liquido che dipende dalle condizioni di valle.

A proposito delle condizioni al contorno del modello, e cioè del livello dell'acqua nella sezione di partenza, si è imposto per le portate di riferimento che tale livello fosse pari a quello di moto uniforme.

Si precisa comunque che l'ipotesi sul livello di partenza, sebbene importante per le caratteristiche del moto nel tratto in studio, non influenza in modo significativo i livelli dell'acqua nel tratto di fiume a ridosso della zona di intervento. Questo perché la sezione di partenza della simulazione idraulica è relativamente lontana a valle, e sono numerose le sezioni d'alveo frapposte tra essa e quelle che sono significative per lo studio delle aree in oggetto, pertanto in queste condizioni il livello dell'acqua in quella prima sezione ha poca influenza, come si può osservare facilmente facendolo variare all'interno di una tolleranza ragionevole, tale da non cambiare le caratteristiche idrauliche del moto.

Le simulazioni effettuate sono rappresentative sia della situazione attuale, sia della situazione di progetto; in questo modo è possibile valutare, con riferimento alla componente idraulica, gli effetti prodotti dalla realizzazione dello sbarramento in progetto.

La verifica idraulica è stata effettuata con riferimento alle portate di piena più significative, ovvero quelle con tempo di ritorno pari a 20, 100 e 200 anni.

L'esame dei risultati del calcolo dei livelli idrici associati alle portate di piena con i tempi di ritorno tecnici del Fiume Tanaro (Tab. 3.1÷ Tab. 3.3) evidenzia che, nella zona immediatamente a monte della traversa, i livelli di piena in presenza dell'opera in progetto sono:

- superiori a quelli attuali di circa 30 cm con riferimento alla portata avente tempo di ritorno di 20 anni;
- superiori a quelli attuali di circa 15 cm con riferimento alla portata avente tempo di ritorno di 100 anni;
- sostanzialmente invariati con riferimento alla portata avente tempo di ritorno di 200 anni.

Per quanto concerne le velocità in alveo si evidenzia, nella zona immediatamente a monte dello sbarramento in progetto, un decremento rispetto alla situazione attuale di circa 0.20 m/s con riferimento alla portata avente tempo di ritorno di 20 anni. Analizzando invece i risultati delle simulazioni relative alla portata centennale e duecentennale si osserva come la variazione di velocità in alveo tra la situazione attuale e quella di progetto sia sostanzialmente trascurabile.

Nelle seguenti tabelle si riporta un confronto tra situazione attuale e situazione di progetto con riferimento alle principali grandezze idrauliche (livello del pelo libero e velocità in alveo) nella zona a ridosso dello sbarramento in progetto.

TR = 20 anni						
Sez	Livello [m s.l.m.]			Velocità [m/s]		
	Attuale	Progetto	$\Delta$	Attuale	Progetto	$\Delta$
550	170.34	170.34	0.00	1.29	1.29	0.00
540	169.61	169.61	0.00	2.05	2.05	0.00
530	169.14	169.14	0.00	1.89	1.89	0.00
520	168.51	168.51	0.00	2.29	2.29	0.00
510	168.07	168.07	0.00	2.02	2.02	0.00
500	167.55	167.55	0.00	1.97	1.97	0.00
490	167.10	167.1	0.00	1.83	1.83	0.00
480	166.54	166.54	0.00	1.84	1.84	0.00
470	165.91	165.92	0.01	2.07	2.07	0.00
460	165.43	165.44	0.01	1.92	1.92	0.00
450	165.12	165.13	0.01	1.91	1.91	0.00
440	164.94	164.95	0.01	1.73	1.73	0.00
430	164.63	164.65	0.02	2.06	2.05	-0.01
420	164.47	164.48	0.01	1.57	1.57	0.00
410	164.20	164.22	0.02	1.96	1.95	-0.01
400	163.31	163.34	0.03	3.16	3.15	-0.01
395	Ponte tangenziale					
390	163.20	163.23	0.03	3.23	3.21	-0.02
380	162.25	162.31	0.06	2.49	2.46	-0.03
379	Traversa Ferrero S.p.A.					
370	161.88	161.95	0.07	1.78	1.76	-0.02
365	Ponte S.R.29					
360	161.65	161.74	0.09	1.85	1.82	-0.03
350	161.16	161.27	0.11	2.38	2.33	-0.05
340	160.82	160.95	0.13	1.89	1.85	-0.04
330	160.24	160.43	0.19	2.40	2.31	-0.09
320	159.46	159.79	0.33	2.93	2.72	-0.21
315	Traversa in progetto					
310	158.95	158.95	0.00	2.61	2.61	0.00
300	158.73	158.73	0.00	1.77	1.77	0.00
290	158.47	158.47	0.00	1.63	1.63	0.00
280	158.10	158.1	0.00	2.14	2.14	0.00
270	157.56	157.56	0.00	2.57	2.57	0.00
260	156.90	156.9	0.00	3.01	3.01	0.00
250	156.57	156.57	0.00	2.14	2.14	0.00

**Tab 3.1 Confronto livelli e velocità in alveo situazione attuale – progetto ( $T_R=20$  anni)**

TR = 100 anni						
Sez	Livello [m s.l.m.]			Velocità [m/s]		
	Attuale	Progetto	$\Delta$	Attuale	Progetto	$\Delta$
550	170.90	170.90	0.00	1.43	1.43	0.00
540	170.26	170.26	0.00	2.08	2.08	0.00
530	169.77	169.77	0.00	2.09	2.09	0.00
520	169.20	169.20	0.00	2.37	2.37	0.00
510	168.83	168.83	0.00	2.10	2.1	0.00
500	168.34	168.34	0.00	2.14	2.13	-0.01
490	167.92	167.92	0.00	1.99	1.99	0.00
480	167.42	167.43	0.01	1.93	1.93	0.00
470	166.87	166.87	0.00	2.18	2.18	0.00
460	166.44	166.45	0.01	2.00	1.99	-0.01
450	166.14	166.15	0.01	2.07	2.07	0.00
440	165.99	166.00	0.01	1.84	1.84	0.00
430	165.75	165.76	0.01	2.04	2.04	0.00
420	165.60	165.61	0.01	1.66	1.66	0.00
410	165.37	165.38	0.01	2.01	2.01	0.00
400	164.39	164.41	0.02	3.52	3.51	-0.01
395	Ponte tangenziale					
390	164.27	164.28	0.01	3.60	3.58	-0.02
380	163.34	163.37	0.03	2.74	2.73	-0.01
379	Traversa Ferrero S.p.A.					
370	162.97	163.01	0.04	2.00	1.99	-0.01
365	Ponte S.R.29					
360	162.72	162.76	0.04	2.08	2.06	-0.02
350	162.12	162.17	0.05	2.74	2.72	-0.02
340	161.76	161.83	0.07	2.15	2.13	-0.02
330	161.14	161.24	0.10	2.69	2.64	-0.05
320	160.31	160.46	0.15	3.29	3.23	-0.06
315	Traversa in progetto					
310	159.83	159.83	0.00	2.82	2.82	0.00
300	159.61	159.61	0.00	1.96	1.96	0.00
290	159.36	159.36	0.00	1.78	1.78	0.00
280	158.96	158.96	0.00	2.39	2.39	0.00
270	158.43	158.43	0.00	2.80	2.8	0.00
260	157.66	157.66	0.00	3.44	3.44	0.00
250	157.35	157.35	0.00	2.35	2.35	0.00

**Tab 3.2 Confronto livelli e velocità in alveo situazione attuale – progetto ( $T_R=100$  anni)**

TR = 200 anni						
Sez	Livello [m s.l.m.]			Velocità [m/s]		
	Attuale	Progetto	$\Delta$	Attuale	Progetto	$\Delta$
550	171.13	171.13	0.00	1.47	1.47	0.00
540	170.52	170.52	0.00	2.09	2.09	0.00
530	170.02	170.02	0.00	2.16	2.16	0.00
520	169.48	169.48	0.00	2.37	2.37	0.00
510	169.14	169.14	0.00	2.12	2.12	0.00
500	168.66	168.66	0.00	2.19	2.19	0.00
490	168.25	168.25	0.00	2.05	2.05	0.00
480	167.78	167.78	0.00	1.96	1.96	0.00
470	167.24	167.24	0.00	2.23	2.23	0.00
460	166.85	166.85	0.00	2.00	2.00	0.00
450	166.55	166.55	0.00	2.12	2.12	0.00
440	166.41	166.41	0.00	1.85	1.85	0.00
430	166.19	166.19	0.00	2.04	2.04	0.00
420	166.05	166.05	0.00	1.69	1.69	0.00
410	165.83	165.83	0.00	2.04	2.04	0.00
400	164.81	164.81	0.00	3.66	3.66	0.00
395	Ponte tangenziale					
390	164.67	164.67	0.00	3.74	3.74	0.02
380	163.76	163.76	0.00	2.84	2.84	0.03
379	Traversa Ferrero S.p.A.					
370	163.39	163.39	0.00	2.09	2.09	0.02
365	Ponte S.R.29					
360	163.12	163.12	0.00	2.17	2.17	0.00
350	162.49	162.49	0.00	2.88	2.88	0.00
340	162.13	162.14	0.01	2.24	2.24	0.00
330	161.52	161.52	0.00	2.77	2.77	0.00
320	160.68	160.69	0.01	3.41	3.40	-0.01
315	Traversa in progetto					
310	160.16	160.16	0.00	3.02	3.02	0.00
300	159.97	159.97	0.00	1.99	1.99	0.00
290	159.72	159.72	0.00	1.83	1.83	0.00
280	159.31	159.31	0.00	2.52	2.52	0.00
270	158.78	158.78	0.00	2.88	2.88	0.00
260	157.91	157.91	0.00	3.70	3.70	0.00
250	157.65	157.65	0.00	2.43	2.43	0.00

**Tab 3.3 Confronto livelli e velocità in alveo situazione attuale – progetto ( $T_R=200$  anni)**

#### 4. DEFINIZIONE QUALITATIVA DEI PARAMETRI GEOTECNICI DEI DEPOSITI ALLUVIONALI

Dai rilievi geologici (effettuati a ottobre - dicembre 2014) finalizzati alla ricostruzione del volume geologico significativo dell'area e dall'esame delle indagini svolte in sito / in laboratorio, la stratigrafia dell'area può essere così ripartita (dall'alto verso il basso):

- Depositi alluvionali attuali del F. Tanaro;
- Depositi alluvionali medio-recenti;
- Marne di S. Agata Fossili.

Le varie unità litologico-stratigrafiche sono state rilette in chiave geotecnica sulla base dei principali caratteri fisici in grado di fornire indicazioni significative per il comportamento meccanico dei terreni, rilevabili nel sondaggio S1. La stratigrafia geotecnica così elaborata costituisce un'adeguata base di calcolo sia per la progettazione geotecnica delle opere, sia per la definizione dell'assetto idrogeologico e delle relazioni tra acque superficiali e circolazione idrica sotterranea.

In particolare, nelle formazioni incoerenti, le correlazioni empiriche di letteratura per l'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche hanno permesso di stimare i parametri meccanici e deformativi, ovvero:

- L'angolo di resistenza al taglio in condizioni di picco è stato stimato tenendo conto dello stato di addensamento e delle caratteristiche granulometriche dei materiali costituenti le varie unità attraverso la correlazione suggerita da HATANAKA & UCHIDA (1996) sulla base di confronti con prove triassiali drenate su campioni di sabbie di alta qualità prelevati con la tecnica del congelamento

$$\phi' = 20 + \sqrt{15,4 N_{1(60)}}$$

MAYNE (1998, 2001) ha confermato la validità di tale relazione anche per sabbie limose residuali contenenti fino al 30% di fini;

- Il peso di volume ( $\gamma$ ) è stato determinato mediante software PGS\_SPT ver. 3.3.1 (Bruschi).

Nelle formazioni coesive i parametri meccanici e deformativi sono stati così determinati:

- l'angolo di resistenza al taglio in condizioni di picco, come riportato in BRUSCHI (2006), è stato stimato tenendo conto dell'Indice di Plasticità:

$$\phi_p = 40^\circ - 2.07 \cdot IP^{0.49} \pm 2^\circ$$

- resistenza al taglio non drenata viene determinata con HARA & AL. (1974) sulla base di prove triassiali di tipo UU (non drenate non consolidate) su 180 campioni provenienti da 25 località giapponesi che hanno indicato una legge di regressione del tipo:

$$\frac{C_u}{p_a} = 0,29 N^{0,72}$$

con un coefficiente di correlazione di 0,93.

- Il peso di volume ( $\gamma$ ) è stato determinato mediante software PGS\_SPT ver. 3.3.1 (Bruschi).

I valori caratteristici ( $X_k$ ) dei parametri geotecnici, intesi come una stima cautelativa del parametro che influenza l'insorgere dello stato limite (SL) in considerazione, sono stati determinati mediante metodi statistici, i quali considerano che la probabilità calcolata di un valore peggiore (più sfavorevole) che governa l'insorgere dello stato limite in considerazione non sia maggiore del 5% (NORI, 2009).

Considerando piccoli volumi di rottura si è utilizzato il seguente algoritmo:

$$x_k = m \pm z_{0,05} \sigma \sqrt{1 + \frac{1}{n}}$$

dove

**$X_k$**  è il valore caratteristico desiderato;

$m$  è il valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione;

$z$  è la distribuzione normale standardizzata;

$\sigma$  è la deviazione standard della popolazione;

$n$  è la numerosità del campione;

con un coefficiente di variazione (CV) adottato:

$\gamma = 5\%$  (BAECHER-CHRISTIAN, 2003); □

$\Phi = 10\%$  (BAECHER-CHRISTIAN, 2003);

$C_u = 30\%$  (BAECHER-CHRISTIAN, 2003).

Nel seguito si riportano, ad eccezione dell'Unità Geotecnica 0 (UGT 0) – Terreno di riporto – non considerato, i risultati delle analisi geotecniche effettuate e delle elaborazioni conseguenti, distinte per Unità Geotecniche (UGT).

#### **UGT 1** – Complesso ghiaioso-sabbioso

Il comportamento globale dell'orizzonte geotecnico, costituito da ghiaie eterometriche con ciottoli in matrice sabbiosa da medio grossolana a fine, è quello tipico dei materiali granulari.

Stato di consistenza: da denso a molto denso.

Per il complesso: da -1.7 m a -3.2 m da p.c.:

Grandezza	S.I.	Valori ridotti al 5° percentile
Peso dell'unità di volume ( $\gamma_k$ )	kN/(m <sup>3</sup> )	<b>18</b>
Angolo resistenza al taglio ( $\phi_k$ )	(°)	<b>34</b>

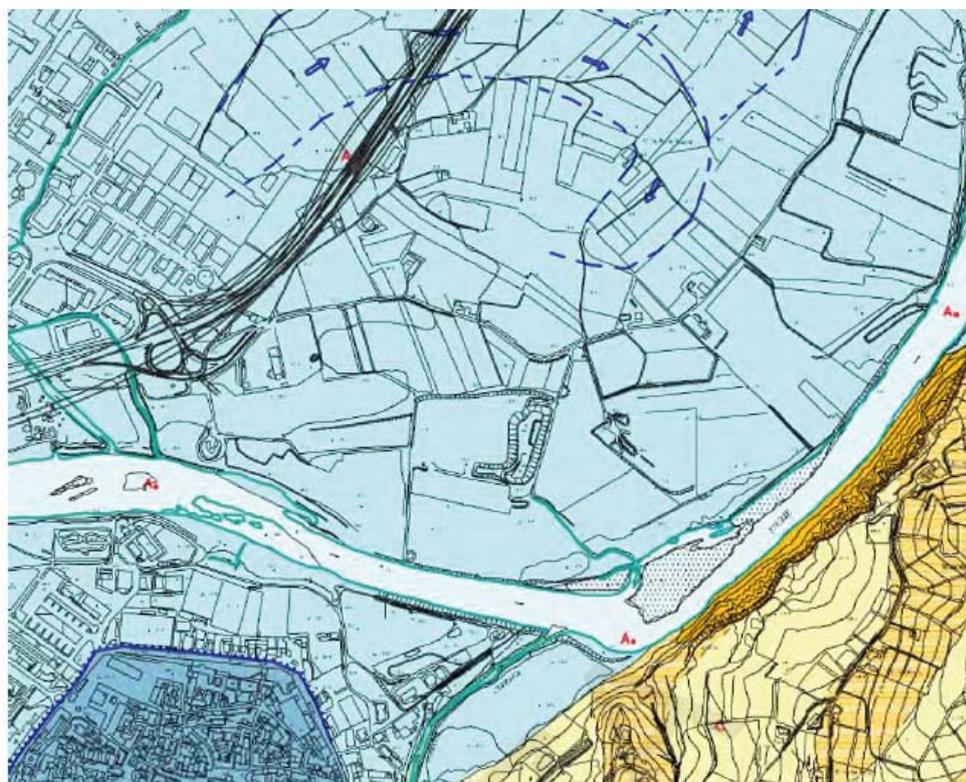
**UGT 2 – Complesso marnoso**

Il comportamento globale dell'orizzonte geotecnico, costituito da argilla marnosa passante in profondità a marna argillosa, è coesivo.

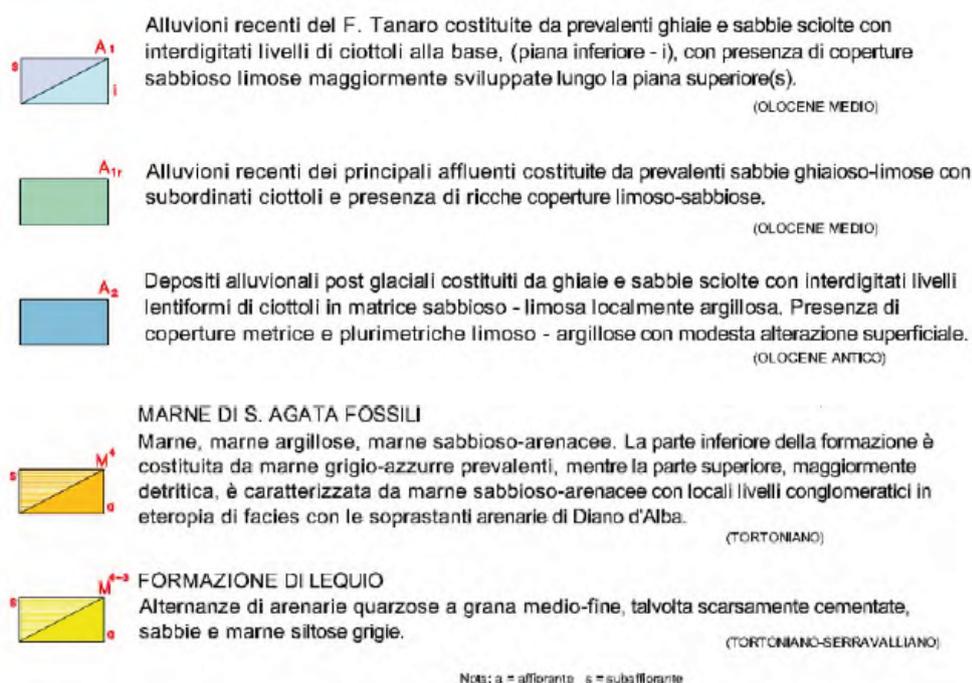
Stato di consistenza: da compatto ad estremamente compatto.

Per il complesso: da -3.2 m a -20 m da p.c.:

		Valori ridotti al 5° per- centile	Valori di letteratura <sup>2</sup>
Grandezza	S.I.		
Peso dell'unità di volume ( $\gamma_k$ )	kN/(m <sup>3</sup> )	<b>19</b>	-
Coesione non drenata ( $C_u$ )	(kPa)	<b>700</b>	-
Coesione efficace ( $c'$ )	(kPa)	-	<b>26</b>
Angolo resistenza al taglio ( $\phi$ )	(°)	<b>26</b>	-



**Fig 4.1 Stralcio (non in scala) della “Carta geomorfologica”, allegata al PRG del Comune di Alba.**



**Fig 4.2** *Legenda della "Carta geomorfologica e del dissesto in atto", allegata al PRG del Comune di Alba.*

## 5. ASPETTI RELATIVI ALLA TENDENZA EVOLUTIVA PLANOALTIMETRICA DEL CORSO D'ACQUA

L'assetto morfologico è conseguente alle divagazioni del fiume Tanaro, come testimoniato dalle diffuse tracce di modellamento fluviale visibili sul terreno, meglio ancora, da fotografie aeree; si possono riconoscere, infatti, vecchi alvei abbandonati, mentre, più generalmente, anche la semplice tessitura agraria, con le sue diverse geometrie, permette di distinguere le fasce di terreno, progressivamente abbandonate dal fiume ed insediate da colture agricole.

La superficie topografica dell'area d'intervento, collocata nella Valle Tanaro, è caratterizzata da un assetto pianeggiante interrotto dai terrazzi fluviali connessi al reticolo del F. Tanaro.

L'assetto dell'area è quindi quello di un profondo solco erosionale sul fondo del quale è stata depositata una sottile coltre di depositi alluvioni (la potenza dei depositi tende ad aumentare in direzione dei rilievi collinari del Roero e a

ridursi in direzione dell'alveo del Fiume Tanaro) la cui geometria interna è definita da interdigitazioni di lenti allungate e separate da superfici erosive, leggermente concave, mentre la granulometria è decrescente verso l'alto con ghiaie alla base, sabbie prevalenti e limi con sabbia a tetto.

L'evoluzione morfologica quaternaria dell'area risulta, infatti, profondamente condizionata da una serie di importanti fenomeni di deviazione fluviale ("diversione del Po", "tracimazione del Tanaro", ecc.), derivanti dall'interazione tra la mobilità tettonica recente, la situazione morfologica al contorno, l'elevata erodibilità delle formazioni presenti (Carraro et al., 1991).

La fascia alluvionale è piuttosto regolare con larghezza compresa tra 2 ÷ 2.5 Km, racchiusa entro versanti, con quote massime omogenee sia in sponda destra che sinistra, poco inferiori a 155 m s.l.m..

Nel tratto in esame il substrato risulta affiorante in alveo sia nel tratto a monte, sia nel tratto a valle del settore in oggetto.

#### Alveo a monte dell'intervento in progetto

Il corso d'acqua scorre, incidendo, il substrato marnoso. Nel tratto del corso d'acqua, oltre il ponte di C.so Canale, sono presenti in destra orografica, sia un argine, sia una difesa spondale.

#### In corrispondenza dell'intervento in progetto

Nella tratta in sinistra idrografica del corso d'acqua è presente un cospicuo deposito alluvionale a matrice sabbiosa mentre, in destra idrografica, si manifesta una erosione laterale a scapito delle pareti sottostanti C.na Gherzi (Fig. 4.2). Tali pareti di versante sono incise da profondi solchi di erosione, derivanti dall'azione delle acque ruscellanti e presentano locali processi gravitativi.

#### A valle dell'intervento in progetto

Il corso d'acqua presenta un andamento rettilineo. Non sono presenti opere spondali.



**Fig 5.1 F. Tanaro nel tratto a monte della zona di intervento (Foto Google Eath, ottobre 2013)**



**Fig 5.1 F. Tanaro in corrispondenza della zona di intervento (Foto Google Eath, ottobre 2013)**



**Fig 5.1 F. Tanaro nel tratto a valle della zona di intervento (Foto Google Eath, ottobre 2013)**

## **7. LIVELLO DI COMPATIBILITA' DELLE OPERE CON IL DISSESTO IN ATTO**

Le opere sono inevitabilmente inserite all'interno della fascia A del PAI perché non altrimenti localizzabili data la morfologia dell'area.

Il risultato degli studi effettuati nell'ambito dell'asta fluviale interessata dal progetto permettono di considerare compatibili le opere previste con il dissesto in atto individuato dal Piano per l'Assetto Idrogeologico.