

REGIONE PIEMONTE
Provincia di Cuneo
COMUNE DI BARBARESCO

**RICOSTRUZIONE DI SBARRAMENTO FLUVIALE
ESISTENTE AD USO IRRIGUO CON INNALZAMENTO
ABBATTIBILE AD USO IDROELETTRICO E
CENTRALE IN CORPO TRAVERSA**

PROGETTO DEFINITIVO

Elaborato n.

A1-11

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

Ottobre 2014

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



ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI CUNEO
769 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



ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI CUNEO
A984 Dott. Ing. Piercarlo Boasso

SOMMARIO

1. PREMESSA	2
1.1. PIANO REGOLATORE GENERALE DEL COMUNE DI BARBARESCO E DEL COMUNE DI CASTAGNITO	2
1.2. PIANO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)	4
2. CARATTERISTICHE IDROLOGICHE DEL BACINO SOTTESO ALL'OPERA DI PRESA	6
3. VALUTAZIONE DEI LIVELLI DI PIENA IN CONDIZIONI DI MOTO PERMANENTE ASSOCIATI AI VALORI DI Q_{cmax} CON I TEMPI DI RITORNO ASSEGNATI	7
4. DEFINIZIONE QUALITATIVA DEI PARAMETRI GEOTECNICI DEI DEPOSITI ALLUVIONALI	16
5. ASPETTI RELATIVI ALLA TENDENZA EVOLUTIVA PLANOALTIMETRICA DEL CORSO D'ACQUA	21
7. LIVELLO DI COMPATIBILITA' DELLE OPERE CON IL DISSESTO IN ATTO	25

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 Barbaresco.

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).

Nel sito dove si intende realizzare l'impianto idroelettrico esiste già una traversa di derivazione che, attualmente, si presenta in avanzato stato di dissesto a causa del crollo verificatisi nel novembre del 2010 che ha interessato buona parte dello sbarramento.

La ricostruzione dello sbarramento si rende necessaria in quanto, a seguito del crollo della traversa, è stata interrotta la derivazione ad uso irriguo del Canale San Marzano di cui è titolare il Consorzio irriguo Capitto; occorre quindi ripristinare le opere di derivazione per garantire la funzionalità della presa attualmente non fruibile.

Oltre che per scopi irrigui, la derivazione è idonea ad essere sfruttata anche per fini idroelettrici, in modo da garantire un uso plurimo della risorsa idrica; a tal proposito si prevede l'installazione di un innalzamento abbattibile al di sopra della traversa fissa e la realizzazione di una centrale idroelettrica in corpo traversa.

1.1. PIANO REGOLATORE GENERALE DEL COMUNE DI BARBARESCO E DEL COMUNE DI CASTAGNITO

Le principali opere in progetto ricadono nel territorio comunale di Barbaresco, mentre una buona parte del tracciato dell'elettrodotto interrato interessa il territorio comunale di Castagnito.

I documenti vigenti sono il Piano Regolatore Generale Comunale del Comune di Barbaresco di cui si riporta un estratto in Fig. 1.1.1 e il Piano Regolatore Generale Comunale del Comune di Castagnito di cui si riporta un estratto in Fig. 1.1.2.

**RICOSTRUZIONE DI SBARRAMENTO FLUVIALE ESISTENTE AD USO IRRIGUO CON INNALZAMENTO
ABBATTIBILE AD USO IDROELETTRICO E CENTRALE IN CORPO TRAVERSA**

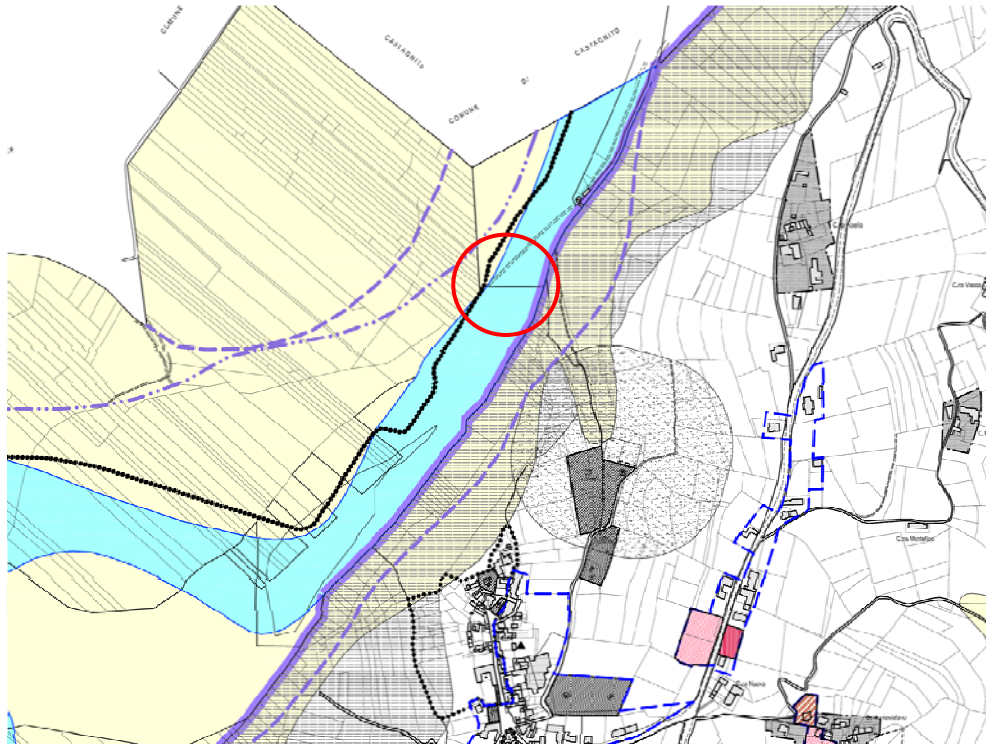


Fig. 1.1.1 Estratto dal P.R.G.C. del Comune di Barbaresco.



Fig. 1.1.2 Estratto dal P.R.G.C. del Comune di Castagnito.

Dalla Fig. 1.1.1 e dall'elaborato A3-4a "Planimetria su base stralcio PRGC – Comune di Barbaresco" emerge che la zona di intervento, individuata in rosso, ricade in classe IIIa "settori non edificati inidonei ad accogliere nuovi insediamenti".

Come si può ravvisare dall'estratto di PRG sopra riportato e dalla tavola di progetto citata, il progetto non interferisce con elementi architettonici, elementi di carattere etnografico o archeologico da salvaguardare.

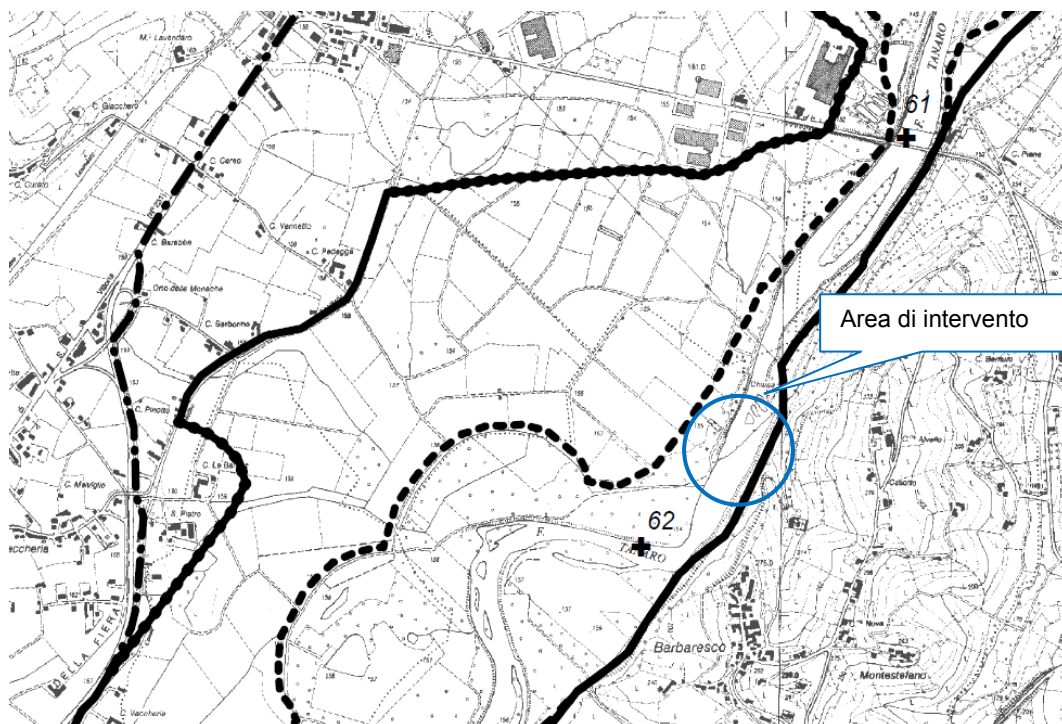
Dalla Fig. 1.1.2 e dall'elaborato A3-4b "Planimetria su base stralcio PRGC – Comune di Castagnito" emerge che il tracciato dell'elettrodotto interrato e l'edificio della cabina di consegna ricadono in Classe IIIa-1 "Aree non idonee a nuovi insediamenti": si tratta di territori inedificati che presentano elementi geomorfologici o idrogeologici tali da renderli inidonei a nuovi insediamenti e ad ampliamenti dell'esistente. L'elettrodotto interrato e la cabina di consegna ricadono in un'area classificata come parco fluviale; inoltre buona parte del tracciato dell'elettrodotto interrato interessa un'area a "vincolo paesaggistico" per la presenza della fascia di rispetto dei corsi d'acqua del Fiume Tanaro.

1.2. PIANO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)

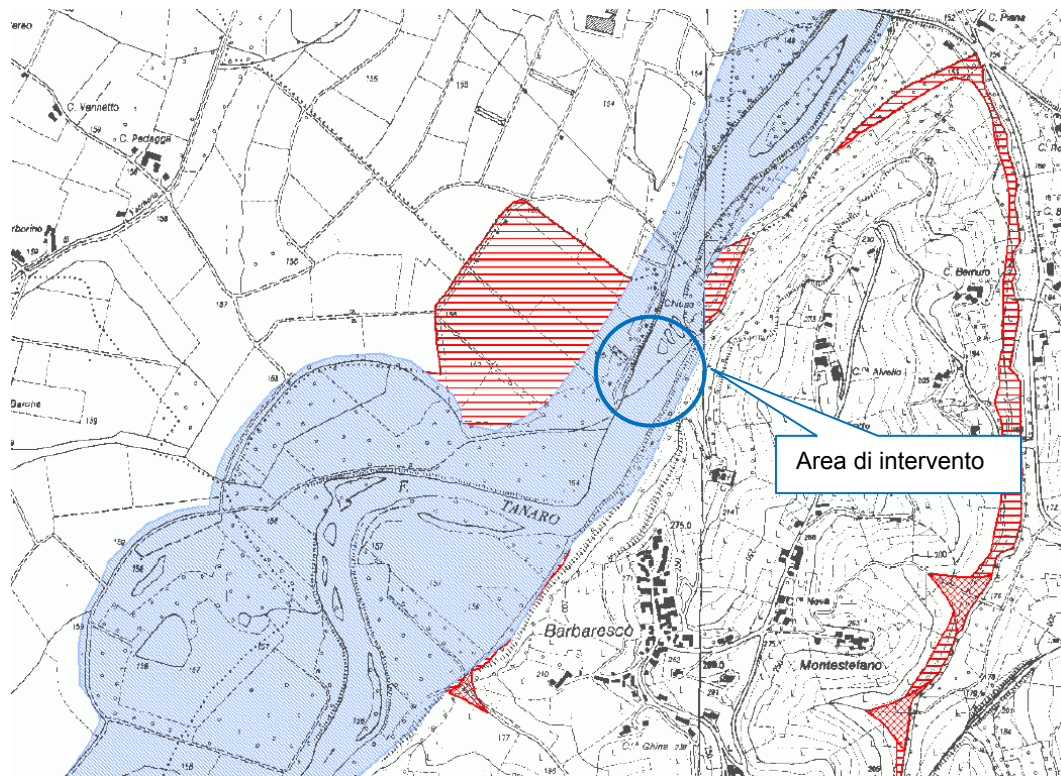
L'intervento in progetto, trattandosi di un impianto idroelettrico ad acqua fluente, prevede, inevitabilmente, la realizzazione di opere in alveo e in zona golenale in prossimità dell'alveo, cioè in aree che ricadono all'interno della fascia A del PAI.

Le problematiche riguardanti la realizzazione di opere in aree esondabili sono state considerate nella progettazione pertanto, in linea di massima, tutti gli elementi del progetto che non devono necessariamente essere collocati a ridosso dell'alveo saranno localizzati al di fuori della fascia A.

Si nota peraltro che il PAI, con deliberazione C.I. n. 18/2001, è stato dotato dell' "Atlante dei rischi idraulici e idrogeologici" e della relativa "Delimitazione delle Aree di dissesto" attraverso la pubblicazione di carte topografiche in scala 1:25.000 di cui si riportano degli estratti.



**Fig. 1.2.1. Delimitazione delle Fasce Fluviali dell'Autorità di Bacino del Fiume Po
(estratto del Foglio 193, Sez. III)**



**Fig. 1.2.2. Delimitazione delle aree in dissesto (estratto dall'atlante dei rischi idraulici e
idrogeologici del PAI, Foglio 193, Sez. IV). Le zone tratteggiate in rosso individuano le
aree a pericolosità molto elevata**

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 Barbaresco.

Corpo idrico	Superficie bacino (km²)	Quota media (m s.l.m.)
Tanaro	3520	1034

Tab. 2.1 Caratteristiche idrologiche del bacino

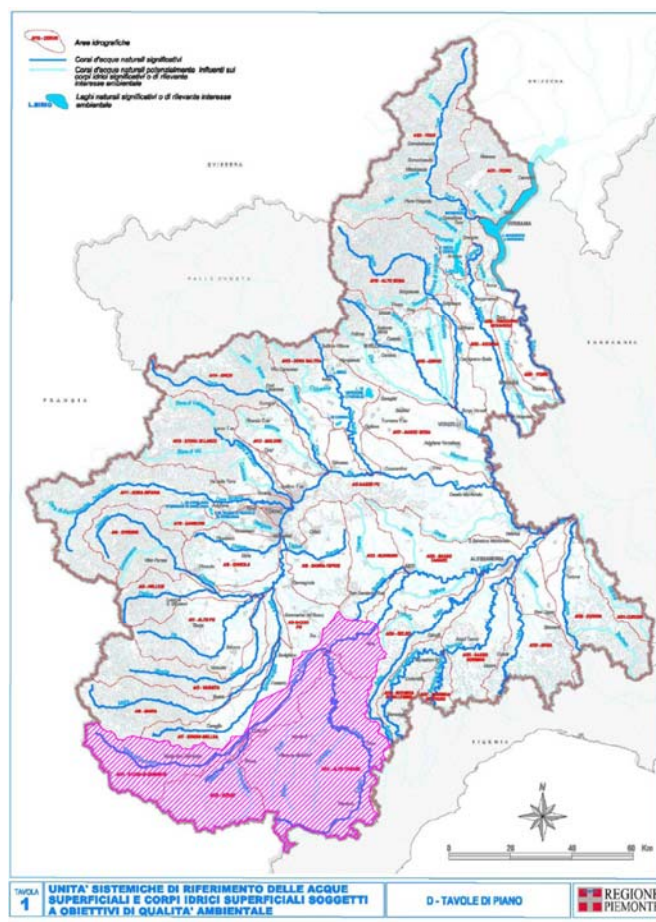


Fig. 2.1 Localizzazione spaziale del bacino del F. Tanaro chiuso a Barbaresco (supporto cartografico: Tavole di piano del PTA).

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 centro abitato di Alba e il comune di Neive (località cascina Boschi), per una lunghezza complessiva di circa 10.8 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 Δs , 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 Δx in asse, nella prima delle quali siano note tutte le grandezze idrauliche.

La variazione di carico idraulico ΔH 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 10.8 km.

Nel modello sono state implementate 47 sezioni 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 ^{-1/3} s	secondo Manning
C	= 1/n = 16.5 m ^{1/3} /s	secondo Gauckler Strickler

per le aree golenali:

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

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

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.

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.

Le simulazioni effettuate sono rappresentative delle seguenti tre condizioni:

- scenario 1: situazione attuale (presenza della traversa esistente in buona parte crollata);
- scenario 2: situazione ante crollo del novembre 2010 (presenza della traversa fissa con quota in sommità di 148.40 m s.l.m.);
- scenario 3: situazione di progetto (presenza della traversa ricostruita con innalzamento abbattibile per uso idroelettrico: quota in sommità di 149.20 m s.l.m.).

In questo modo è possibile valutare, con riferimento alla componente idraulica, gli effetti prodotti dalla realizzazione dello sbarramento in progetto. Come più volte ribadito, per portate superiori a $300 \text{ m}^3/\text{s}$ lo sbarramento mobile in progetto verrà completamente abbattuto, ripristinando la quota in sommità di 148.40 m s.l.m.; pertanto, nelle condizioni di piena analizzate, lo scenario 2 e lo scenario 3 sono coincidenti.

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) rileva che i livelli di piena in presenza dell'opera in progetto, nella zona immediatamente a monte della traversa, sono superiori a quelli attuali. L'incremento è di circa 2.0 m per la portata con tempo di ritorno di 20 anni, circa 1.0 m per la T_R 100 anni e circa 0.6 m per la T_R 200 anni. L'aumento dei livelli di piena è legato al fatto che la traversa esistente è, in buona parte, crollata; pertanto, anche se lo sbarramento in progetto presenta una quota in sommità identica a quello dello sbarramento esistente (in condizioni di piena, infatti, lo sbarramento mobile è abbassato), è inevitabile che quest'ultimo determini un incremento dei livelli in quanto esso occupa l'intera sezione trasversale. Tuttavia, è opportuno evidenziare come l'incremento dei livelli idrici in condizioni di piena conseguente alla realizzazione dello sbarramento in progetto, non modifichi le aree inondabili dal F. Tanaro che, nelle condizioni di progetto, risultano sostanzialmente coincidenti con quelle rappresentative della situazione attuale.

Per quanto concerne le velocità in alveo si evidenzia, nella zona immediatamente a monte dello sbarramento, una riduzione rispetto alla situazione attuale. Il decremento è di circa 1 m/s per la portata con tempo di ritorno di 20 anni, circa 0.6 m/s per la T_R 100 anni e circa 0.4 m/s per la T_R 200 anni.

Lo scenario di progetto, nelle condizioni di piena considerate (T_R pari a 20, 100 e 200 anni), è sostanzialmente analogo a quello precedente al crollo della traversa avvenuto nel novembre 2010. Per portate superiori a $300 \text{ m}^3/\text{s}$, infatti, lo sbarramento mobile viene abbassato; in tali condizioni la quota in

sommità della traversa è di 148.40 m s.l.m. ed è quindi coincidente con quella della traversa esistente crollata nel 2010.

A proposito delle azioni temporanee che ci possono essere nel transitorio della realizzazione dell'opera si ritiene che, in queste condizioni, ci sia un incremento del trasporto solido, di fondo e in sospensione, dovuto essenzialmente all'inevitabile transito dei mezzi d'opera in alveo ed ai lavori e scavi connessi.

Tale problema sarà minimizzato dalla realizzazione immediatamente a valle dei lavori di una tura in materiale incoerente con funzioni di filtro.

Qualora si presentassero in alveo condizioni idrologiche critiche, tale manufatto di sbarramento temporaneo sarebbe rapidamente asportato dalle acque in crescita eliminando, quindi, la sua interazione con il regime idraulico del corso d'acqua prima del manifestarsi del colmo di piena.

Inoltre, in considerazione dell'entità delle variazioni che esso determina in relazione alle modalità specifiche di propagazione delle medesime, si ritiene che si tratti unicamente di un impatto locale.

**RICOSTRUZIONE DI SBARRAMENTO FLUVIALE ESISTENTE AD USO IRRIGUO CON INNALZAMENTO
ABBATTIBILE AD USO IDROELETTRICO E CENTRALE IN CORPO TRAVERSA**

TR = 20 anni						
Sez	Livello [m s.l.m.]			Velocità [m/s]		
	Attuale	Progetto	Δ	Attuale	Progetto	Δ
430	164.63	164.63	0.00	2.06	2.06	0.00
420	164.46	164.46	0.00	1.57	1.57	0.00
410	164.19	164.19	0.00	1.96	1.96	0.00
400	163.30	163.30	0.00	3.17	3.17	0.00
390	163.19	163.19	0.00	3.24	3.24	0.00
380	162.22	162.22	0.00	2.50	2.50	0.00
370	161.84	161.84	0.00	1.81	1.81	0.00
360	161.66	161.66	0.00	1.88	1.88	0.00
350	161.16	161.16	0.00	2.37	2.37	0.00
340	160.82	160.82	0.00	1.89	1.89	0.00
330	160.25	160.25	0.00	2.39	2.39	0.00
320	159.46	159.46	0.00	2.93	2.93	0.00
310	158.98	158.99	0.01	2.56	2.56	0.00
300	158.81	158.81	0.00	1.68	1.68	0.00
290	158.58	158.58	0.00	1.57	1.57	0.00
280	158.25	158.25	0.00	2.06	2.06	0.00
270	157.79	157.79	0.00	2.43	2.43	0.00
260	157.22	157.23	0.01	2.84	2.84	0.00
250	156.82	156.82	0.00	2.25	2.25	0.00
240	156.42	156.43	0.01	1.90	1.90	0.00
230	156.16	156.17	0.01	1.66	1.66	0.00
220	155.73	155.75	0.02	2.37	2.36	-0.01
210	155.34	155.37	0.03	1.94	1.93	-0.01
200	154.51	154.59	0.08	2.04	1.97	-0.07
190	154.23	154.34	0.11	1.56	1.50	-0.06
180	154.04	154.15	0.11	1.34	1.34	0.00
170	153.79	153.94	0.15	1.55	1.46	-0.09
160	152.82	153.29	0.47	2.94	2.39	-0.55
150	151.81	152.91	1.10	2.63	1.76	-0.87
140	150.33	152.37	2.04	3.28	2.20	-1.08
130	150.06	150.06	0.00	2.27	2.27	0.00
120	149.58	149.58	0.00	2.26	2.26	0.00
110	149.24	149.24	0.00	1.95	1.95	0.00
100	148.51	148.51	0.00	2.52	2.52	0.00
90	147.59	147.59	0.00	2.65	2.65	0.00
80	147.36	147.36	0.00	2.76	2.76	0.00
70	146.42	146.42	0.00	2.84	2.84	0.00
60	146.02	146.02	0.00	2.17	2.17	0.00
50	145.52	145.52	0.00	2.55	2.55	0.00
40	144.84	144.84	0.00	2.13	2.13	0.00
30	144.26	144.26	0.00	2.09	2.09	0.00
20	143.76	143.76	0.00	2.06	2.06	0.00
10	142.79	142.79	0.00	3.16	3.16	0.00

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

**RICOSTRUZIONE DI SBARRAMENTO FLUVIALE ESISTENTE AD USO IRRIGUO CON INNALZAMENTO
ABBATTIBILE AD USO IDROELETTRICO E CENTRALE IN CORPO TRAVERSA**

TR = 100 anni						
Sez	Livello [m s.l.m.]			Velocità [m/s]		
	Attuale	Progetto	Δ	Attuale	Progetto	Δ
430	165.75	165.75	0.00	2.05	2.05	0.00
420	165.60	165.60	0.00	1.66	1.66	0.00
410	165.36	165.36	0.00	2.01	2.01	0.00
400	164.38	164.38	0.00	3.53	3.53	0.00
390	164.25	164.25	0.00	3.61	3.61	0.00
380	163.31	163.31	0.00	2.76	2.76	0.00
370	162.94	162.94	0.00	2.03	2.03	0.00
360	162.73	162.73	0.00	2.10	2.10	0.00
350	162.13	162.13	0.00	2.74	2.74	0.00
340	161.77	161.77	0.00	2.15	2.15	0.00
330	161.16	161.16	0.00	2.69	2.69	0.00
320	160.34	160.34	0.00	3.27	3.27	0.00
310	159.90	159.90	0.00	2.75	2.75	0.00
300	159.72	159.72	0.00	1.87	1.87	0.00
290	159.50	159.50	0.00	1.71	1.71	0.00
280	159.15	159.15	0.00	2.32	2.32	0.00
270	158.69	158.69	0.00	2.65	2.65	0.00
260	157.94	157.94	0.00	3.41	3.41	0.00
250	157.58	157.58	0.00	2.43	2.43	0.00
240	157.18	157.19	0.01	2.08	2.07	-0.01
230	156.89	156.90	0.01	1.91	1.91	0.00
220	156.40	156.40	0.00	2.71	2.70	-0.01
210	155.97	155.98	0.01	2.22	2.22	0.00
200	155.13	155.16	0.03	2.19	2.17	-0.02
190	154.82	154.86	0.04	1.79	1.76	-0.03
180	154.60	154.65	0.05	1.54	1.52	-0.02
170	154.34	154.40	0.06	1.67	1.63	-0.04
160	153.49	153.69	0.20	2.94	2.69	-0.25
150	152.69	153.18	0.49	2.56	2.11	-0.45
140	151.15	152.22	1.07	3.70	3.03	-0.67
130	151.00	151.00	0.00	2.58	2.58	0.00
120	150.50	150.50	0.00	2.52	2.52	0.00
110	150.15	150.15	0.00	2.21	2.21	0.00
100	149.52	149.52	0.00	2.56	2.56	0.00
90	148.41	148.41	0.00	3.08	3.08	0.00
80	148.12	148.12	0.00	3.24	3.24	0.00
70	147.28	147.28	0.00	2.84	2.84	0.00
60	146.86	146.86	0.00	2.35	2.35	0.00
50	146.31	146.31	0.00	2.87	2.87	0.00
40	145.57	145.57	0.00	2.41	2.41	0.00
30	144.95	144.95	0.00	2.31	2.31	0.00
20	144.41	144.41	0.00	2.30	2.30	0.00
10	143.45	143.45	0.00	3.39	3.39	0.00

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

**RICOSTRUZIONE DI SBARRAMENTO FLUVIALE ESISTENTE AD USO IRRIGUO CON INNALZAMENTO
ABBATTIBILE AD USO IDROELETTRICO E CENTRALE IN CORPO TRAVERSA**

TR = 200 anni						
Sez	Livello [m s.l.m.]			Velocità [m/s]		
	Attuale	Progetto	Δ	Attuale	Progetto	Δ
430	166.18	166.18	0.00	2.05	2.05	0.00
420	166.04	166.04	0.00	1.69	1.69	0.00
410	165.82	165.82	0.00	2.04	2.04	0.00
400	164.79	164.79	0.00	3.67	3.67	0.00
390	164.65	164.65	0.00	3.75	3.75	0.00
380	163.72	163.72	0.00	2.86	2.86	0.00
370	163.36	163.36	0.00	2.12	2.12	0.00
360	163.13	163.13	0.00	2.19	2.19	0.00
350	162.49	162.49	0.00	2.88	2.88	0.00
340	162.14	162.14	0.00	2.24	2.24	0.00
330	161.53	161.53	0.00	2.76	2.76	0.00
320	160.70	160.70	0.00	3.39	3.39	0.00
310	160.22	160.22	0.00	2.94	2.94	0.00
300	160.06	160.06	0.00	1.91	1.91	0.00
290	159.84	159.84	0.00	1.77	1.77	0.00
280	159.46	159.46	0.00	2.44	2.44	0.00
270	159.01	159.01	0.00	2.74	2.74	0.00
260	158.21	158.21	0.00	3.58	3.58	0.00
250	157.86	157.87	0.01	2.51	2.51	0.00
240	157.48	157.48	0.00	2.14	2.14	0.00
230	157.17	157.17	0.00	2.01	2.01	0.00
220	156.65	156.66	0.01	2.83	2.83	0.00
210	156.20	156.20	0.00	2.35	2.35	0.00
200	155.34	155.36	0.02	2.25	2.24	-0.01
190	155.03	155.06	0.03	1.83	1.82	-0.01
180	154.81	154.84	0.03	1.60	1.58	-0.02
170	154.55	154.58	0.03	1.72	1.70	-0.02
160	153.74	153.85	0.11	2.93	2.80	-0.13
150	153.03	153.29	0.26	2.48	2.24	-0.24
140	151.47	152.09	0.62	3.85	3.44	-0.41
130	151.36	151.36	0.00	2.61	2.61	0.00
120	150.88	150.88	0.00	2.56	2.56	0.00
110	150.56	150.56	0.00	2.21	2.21	0.00
100	149.93	149.93	0.00	2.62	2.62	0.00
90	148.77	148.77	0.00	3.21	3.21	0.00
80	148.46	148.46	0.00	3.38	3.38	0.00
70	147.57	147.57	0.00	2.95	2.95	0.00
60	147.15	147.15	0.00	2.44	2.44	0.00
50	146.58	146.58	0.00	2.96	2.96	0.00
40	145.84	145.84	0.00	2.51	2.51	0.00
30	145.20	145.20	0.00	2.42	2.42	0.00
20	144.64	144.64	0.00	2.40	2.40	0.00
10	143.69	143.69	0.00	3.48	3.48	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:

Nelle formazioni incoerenti

- 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 (γ) 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 (γ) 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;

σ è la deviazione standard della popolazione;

n è la numerosità del campione;

con un coefficiente di variazione (CV) adottato:

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

$\square = 10\%$ (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 -0.7 m a -5.2 m da p.c.:

		Valori ridotti al 5° percentile
Grandezza	S.I.	
Peso dell'unità di volume (γ_k)	kN/(m ³)	18.8
Angolo resistenza al taglio (ϕ_k)	(°)	38

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 -5.2 m a -20 m da p.c.:

Grandezza	S.I.	Valori ridotti al 5° percentile	Valori di letteratura ²
Peso dell'unità di volume (γ_k)	kN/(m ³)	19	-
Coesione non drenata ($C_u k$)	(kPa)	687	-
Coesione efficace ($c' k$)	(kPa)	-	26
Angolo resistenza al taglio (ϕk)	(°)	25	-



Fig 4.1 Stralcio (non in scala) della “Carta geomorfologica e del dissesto in atto”, allegata al PRG vigente del Comune di Barbaresco.

**RICOSTRUZIONE DI SBARRAMENTO FLUVIALE ESISTENTE AD USO IRRIGUO CON INNALZAMENTO
ABBATTIBILE AD USO IDROELETTRICO E CENTRALE IN CORPO TRAVERSA**

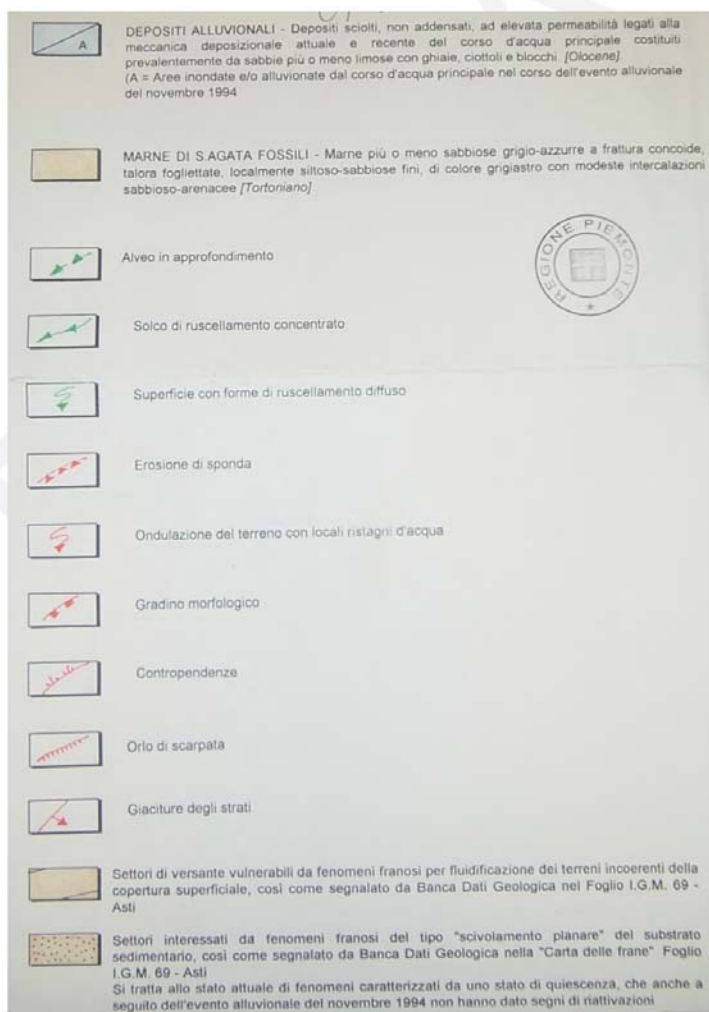


Fig 4.2 Legenda della "Carta geomorfologica e del dissesto in atto", allegata al PRG vigente del Comune di Barbaresco.

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 150 m s.l.m..

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

A monte dell'intervento in progetto

Il tratto del corso d'acqua presenta un ampio meandro in cui è presente un ridotto processo di erosione in sinistra idrografica (Fig. 5.1).



Fig. 5.1 Immagine del 23/03/2011 tratta da Google Earth (2014).

In destra idrografica, lungo il versante che sottostà all'abitato di Barbaresco, sono presenti opere di difesa, rappresentate da scogliere a massi ciclopici e opere di ingegneria naturalistica (gradonate e palificate a parete doppia). Si evidenzia come alcune tratte delle scogliere a massi ciclopici siano parzialmente compromesse nella loro funzionalità (Fig. 5.2).



Fig. 5.2 Fotogramma di un tratto della scogliera a massi ciclopici compromessa.

In corrispondenza dell'intervento in progetto

La tratta in sinistra idrografica del corso d'acqua risulta incisa e caratterizzata dal parziale collasso, occorso nell'anno 2010, della traversa esistente. La conseguente erosione dei depositi alluvionali medio recenti è osservabile nella Fig. 5.3.

Tale situazione può essere superata sia con la messa in opera della traversa in progetto, sia con la realizzazione di opere di difesa spondale in continuità a monte e valle, in sinistra idrografica, con quelle esistenti.



Fig. 5.3 Immagine del 23/03/2011 tratta da Google Earth (2014).

A valle dell'intervento in progetto

In sinistra idrografica è presente un deposito alluvionale recente particolarmente esteso, mentre per la restante tratta, fino al ponte della S.P. n° 3, l'alveo scorre su depositi marnosi.

In destra idrografica i depositi alluvionali attuali sono via via più estesi verso valle (Fig. 5.4).



Fig. 5.4 Affioramento dei depositi attuali lungo la sponda in idrografica destra.

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.

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.