

IMPIANTO IDROELETTRICO SUL TORRENTE "ALBERONE" COMUNE DI SAVOGNA (UD)

PROGETTO DEFINITIVO

ALLEGATO N. 2.2	RELAZIONE IDRAULICA					
SCALA						
DATA APRILE 2016						
PROGETTAZIONE  Viale della Stazione n° 40 32035 Santa Giustina (BL) Tel: +39 0437 858 549 - 859 225 Fax: +39 0437 857 084 E-mail: info@zollet.eu			IL PROGETTISTA dott. ing. Lucio Zollet 			
PROPONENTE  Bagnoli della Rosandra n° 64 34018 San Dorligo della Valle / Dolina (TS) Tel: +39 040 245 72 93 E-mail: Sunex2.ts@gmail.com			CONSULENTE			

	NOME FILE	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO
	152_PD_2.2_RH_00	APRILE 2016	PROGETTO DEFINITIVO E S.I.A.	VECELIO	D'ESTE	ZOLLET

INDICE

1	PREMESSA	2
2	OPERA DI PRESA.....	3
2.1	ASSETTO GENERALE E CRITERI DI FUNZIONAMENTO	3
2.2	DIMENSIONAMENTO IDRAULICO DELL'OPERA DI PRESA	5
2.2.1	Deflusso attraverso il solo varco per il DMV	7
2.2.2	Meccanismo di derivazione	9
2.2.3	Dimensionamento del dissabbiatore.....	11
2.2.4	Dimensionamento delle luci si scarico.....	12
2.2.5	Immissione nella condotta forzata	12
3	SCALA DI RIMONTA	14
3.1	INQUADRAMENTO ITTICO	14
3.2	CARATTERISTICHE SITO	14
3.3	DIMENSIONAMENTO SCALA	16
4	VERIFICA IDRAULICA CONDOTTA FORZATA	20
4.1	PERDITE DI CARICO.....	20
4.2	VERIFICA DELLE PRESSIONI DI FUNZIONAMENTO	20
4.3	DIMENSIONAMENTO DELLE APPARECCHIATURE DI SFIATO.....	23
5	VERIFICA IDRAULICA DELLA RESTITUZIONE.....	29
6	VERIFICHE IDRAULICHE DI PIENA.....	31
6.1	MODIFICHE RISPETTO AL PROGETTO PRELIMINARE	31
6.2	MODELLO MONODIMENSIONALE	31
6.2.1	Simulazione del tronco torrentizio sul quale insiste l'opera di presa	35
6.2.2	Simulazione del tronco torrentizio sul quale insiste l'opera di restituzione	41
7	BIBLIOGRAFIA	44

	IMPIANTO IDROELETTRICO SUL TORRENTE ALBERONE <i>PROGETTO DEFINITIVO</i> <i>RELAZIONE IDRAULICA</i>	FILE:	152_PD_2.2_RH_00.docx
		Pag	2 di 44

1 PREMESSA

La presente relazione espone i calcoli idraulici di dimensionamento relativi all'opera di presa e la verifica sui livelli idrici di piena del torrente nei tronchi interessati dai manufatti che costituiranno l'impianto idroelettrico sul Torrente Alberone.

La relazione si articola nei seguenti punti:

- dimensionamento idraulico delle strutture afferenti l'opera di presa;
- verifica dei livelli di piena del Torrente Alberone nei tronchi interessati dall'opera di presa e dalla centrale di produzione.

La progettazione ha voluto tenere in debita considerazione l'assetto dei luoghi, con soluzioni che assecondano il naturale aspetto del torrente anziché contrastarlo.

L'opera di presa viene così a trovarsi in località Ieronizza, in comune di Savogna (UD), ed è facilmente raggiungibile tramite la strada turistica di Montemaggiore.

	IMPIANTO IDRELETTRICO SUL TORRENTE ALBERONE <i>PROGETTO DEFINITIVO</i> <i>RELAZIONE IDRAULICA</i>	FILE:	152_PD_2.2_RH_00.docx
		Pag	3 di 44

2 OPERA DI PRESA

2.1 ASSETTO GENERALE E CRITERI DI FUNZIONAMENTO

Nel dimensionare e definire la forma del manufatti oggetto della presente si sono compendati i criteri di funzionalità e sicurezza idraulica relativi sia alle funzioni per le quali l'opera è progettata sia in relazione alle portate che possono aversi nel torrente con le caratteristiche geomorfologiche del sito nel quale l'opera stessa dev'essere inserita.

Per quanto concerne il funzionamento delle opere si sono previsti quegli accorgimenti utili a dilatare gli intervalli tra i necessari interventi manutentori.

L'impianto, del tipo ad acqua fluente, è stato progettato al fine di:

- rilasciare a valle dell'opera di presa una portata non inferiore a quella di Deflusso Minimo Vitale ($DMV = 0.093 \text{ m}^3/\text{s}$)
- consentire alle specie ittiche la risalita del torrente
- garantire che il transito delle portate di piena sulla traversa avvenga in condizioni di sicurezza idraulica
- derivare fino a $0.798 \text{ m}^3/\text{s}$ dal torrente, in ragione della portata in arrivo e delle esigenze di funzionamento dell'impianto

L'opera di presa sarà costituita da una traversa dello spessore di circa 1 m che avrà lo scopo di creare un bacino di calma dal quale, mediante l'opera di derivazione laterale, sarà derivata l'acqua da addurre alla centrale di produzione.

La gàveta dell'opera, in cls, verrà rivestita in pietra resistente all'abrasione e avrà uno sviluppo di circa 10 m con quota minima di sfioro a 345,70 m s.l.m. A monte e a valle della traversa verranno posizionati massi intasati in c.a., al fine di creare una sorta di bacini di calma, per consentire la derivazione laterale a monte, per regolarizzare il fondo e la turbolenza a valle.

La sezione in corrispondenza della nuova opera di presa verrà raccordata in sinistra idraulica, dove verranno realizzati i manufatti che deriveranno l'acqua da addurre alla centrale di produzione.

L'opera di presa sarà del tipo "a derivazione laterale", ovvero con la soglia di derivazione disposta lungo la sponda del torrente, a monte della traversa.

Per garantire il transito del DMV si realizzerà un'incisione nella gàveta della soglia, in sinistra idraulica, della larghezza di 100 cm, con tale incisione si realizzerà una soglia sfiorante a quota 345,20 m s.l.m., ovvero 30 cm sotto la quota di sfioro fissata per la derivazione posta a 345,50 m s.l.m. Con questa configurazione delle soglie sfioranti quando il livello idrico è tale da realizzare

	IMPIANTO IDRELETTRICO SUL TORRENTE ALBERONE <i>PROGETTO DEFINITIVO</i> <i>RELAZIONE IDRAULICA</i>	FILE:	152_PD_2.2_RH_00.docx
		Pag	4 di 44

uno sfioro dallo soglia di derivazione per la luce dedicata al DMV transita verso valle una portata non inferiore a quella fissata per il minimo deflusso vitale.

La luce del DMV sarà parzialmente modulata, in funzione delle specifiche condizioni idriche all'interno del torrente, allo scopo di rilasciare a valle una portata costante pari al valore del DMV calcolato, da una paratoia oleodinamica orizzontale, azionata dal sistema di controllo automatico dell'impianto ed alimentata attraverso un circuito funzionante ad olio sintetico biodegradabile per evitare il rischio di inquinamento nel caso di malfunzionamento dell'impianto.

La paratoia in acciaio inossidabile, scorre su guide ancorate alla struttura in calcestruzzo ed è azionata da un pistone oleodinamico alimentato attraverso olio sintetico biodegradabile. Un apposito sistema di trasduttori permetterà l'esatta individuazione della posizione della paratoia, al fine di conoscere in ogni istante il grado di apertura della stessa e, di conseguenza, la dimensione della luce di scarico. Il compressore e il serbatoio dell'olio saranno alloggiati come la paratoia all'interno di un vano appositamente creato in corrispondenza dell'ala destra della gaveta, al cui interno si potrà accedere dall'alto per le operazioni di pulizia e di manutenzione degli organi meccanici. Il sistema è infine controllato in remoto dal quadro comandi e dal sistema automatizzato alloggiati presso la centrale di produzione.

Per tenere conto di eventuali aggiornamenti delle norme inerenti la determinazione del DMV si dovrà variare le dimensioni della paratoia che tampona parzialmente l'incisione nella gaveta, i setti sono in acciaio ed i varchi sono dimensionati per avere una certa flessibilità di utilizzo, per variazioni più consistenti le dimensioni dei varchi sono realizzabili tagliando o saldando la lamiera. L'impianto è studiato per funzionare con il livello idrometrico nella vasca di carico posto a quota 345,30 m s.l.m., che è mantenuto costante agendo sui regolatori di macchina.

La parte dell'opera di presa che sarà realizzata a monte della traversa consiste in uno sfioratore longitudinale che recapita le acque derivate all'interno dello sghiaiatore, nel quale si realizza la sedimentazione degli elementi litoidi più grossolani portati dalla corrente. Le dimensioni di tale vasca sono state definite in 8,50m di lunghezza e 3,50m di larghezza. La portata derivata entra nello sghiaiatore primario attraverso la soglia di derivazione, che ha uno sviluppo complessivo di 5,05 m e da questo, passando attraverso la soglia con quota di sfioro posta a 345,10 m s.l.m. passa nell'adiacente dissabbiatore. Il fondo dello sghiaiatore si abbassa procedendo dall'estremità di monte verso la traversa di presa, rispettivamente con pendenza del 20%. In prossimità del punto più basso della platea di fondo dello sghiaiatore si trova una luce di altezza 0,75 m e 0,80 m di larghezza, presidiata da una paratoia piana che sarà aperta periodicamente per vuotare le vasche dai sedimenti. Lo scarico dei sedimenti depositatesi nello sghiaiatore avverrà attraverso un condotto di scarico di dimensioni pari alla luce della paratoia, che passa al

	IMPIANTO IDRELETTRICO SUL TORRENTE ALBERONE <i>PROGETTO DEFINITIVO</i> <i>RELAZIONE IDRAULICA</i>	FILE:	152_PD_2.2_RH_00.docx
		Pag	5 di 44

di sotto della scala di rimonta pesci. Subito dopo lo sghiaiatore, in adiacenza ad esso, verrà realizzato il dissabbiatore.

Al di sopra della soglia che separa queste due vasche, è previsto l'impiego di una griglia a barre verticali di spessore 10 cm e passo 3 cm per trattenere il materiale galleggiante, munita di un sistema di sgrigliatura.

La soglia ha lunghezza 3,50 m, con quota di sfioro a 345,10 m.

Il dissabbiatore, con la classica sezione trasversale a forma di tramoggia trapezia larga 3,50 m e alta 1,00 m, raccoglie le sabbie depositatesi in una canaletta di scarico larga 0,90 m e di altezza variabile, avente una pendenza del fondo pari al 5%. All'interno di questo manufatto, la cui vasca è lunga 12,00 m, si realizza la decantazione delle particelle di materiale litoide più fine, sino a quelle con un diametro caratteristico pari a 0,5 mm. Il materiale decantato si deposita nella canaletta di fondo, dalla quale è periodicamente allontanato attraverso la luce di scarico che si apre immediatamente a monte della vasca di carico, che ha dimensioni pari a 0,60x0,80 m² ed è presidiata da una paratoia piana. Il dissabbiatore è provvisto anche di uno scarico di troppo pieno, che consiste in una soglia sfiorante posta a quota 345,40 m s.l.m. lunga 4,00 m.

Al di sopra della soglia che segna l'inizio del dissabbiatore, prima della griglia a barre d'acciaio verticali, è posta una paratoia piana di dimensioni 3,50x3,00 m², con azionamento motorizzato, in grado di isolare il sistema qualora venga abbassata durante gli eventi di piena.

La vasca di carico consiste in una camera di dimensioni 3,50x3,50 m², accessibile dall'alto per ispezione.

Subito dopo la vasca di carico è posizionata la Camera della valvola di sicurezza nella quale è alloggiato anche il misuratore di portata, che misura la portata istantanea fluente in condotta, convertendo in segnale elettrico la misura; elaborando poi in centralina la differenza dei due segnali, ad un'eventuale rottura della tubazione si riscontra una differenza – fra il segnale di testa condotta e quello di centrale – non nulla; il sistema di controllo e regolazione provvederà allora all'azionamento degli organi di intercettazione, in modo tale da arrestare la centrale, ed alla segnalazione dell'incidente. Dalla camera di alloggiamento valvola si diparte la condotta forzata. La quota di imbocco di tale condotta è tale da garantire che non vi sia risucchio d'aria nella condotta stessa.

2.2 DIMENSIONAMENTO IDRAULICO DELL'OPERA DI PRESA

Ai fini della calcolo idraulico della derivazione, il complesso della derivazione può essere schematizzato come un nodo idraulico costituito da tre luci tra le quali, a seconda della reciproca

posizione delle soglie di sfioro, si ripartisce la portata in arrivo da monte. Queste luci, procedendo da quella con la quota di sfioro inferiore sono le seguenti:

- stramazzo per il transito del DMV;
- stramazzo o soglia di derivazione;
- gàveta della briglia.

Il livello idrometrico a monte delle luci può essere considerato unico, di modo che l'altezza di battente idraulico su ciascuna delle soglie sopra elencate risulta dalla differenza tra tale livello e la quota di sfioro di ciascuna soglia. Di conseguenza, applicando note relazioni è possibile valutare la portata fluente attraverso ciascuna luce al variare del livello idrometrico nel corso d'acqua.

La seguente tabella riassume le caratteristiche delle luci di sfioro:

	DMV	Derivazione	Gàveta
Quota (m s.m.m.)	345,20	345,50	345,70
Ampiezza (m)	1,00	5,05	10,50
Spessore (m)	1,00	0,50	1,00

Tabella 1: Principali caratteristiche geometriche degli sfioratori esterni del sistema di presa.

Il varco per il DMV è assimilato ad uno stramazzo in parete grossa, a deflusso libero.

Data la reciproca disposizione delle soglie di sfioro, ed essendo la quota nella vasca di carico fissata dalle regolazioni della macchina, al nodo della presa si avranno le seguenti condizioni, al variare della portata in arrivo:

- per portate inferiori od uguali al DMV tutta l'acqua transita attraverso il varco per la portata di rispetto e non vi è alcuna derivazione verso l'impianto;
- per portate in arrivo superiori al DMV e non maggiori della portata massima di esercizio dell'impianto si ha sfioro dal varco per la portata di rispetto e dalla soglia di presa;
- per portate in arrivo superiori alla portata di esercizio la portata derivata è mantenuta pari al massimo valore di progetto agendo sulla paratoia motorizzata che permette di regolare l'apertura della luce all'ingresso del dissabbiatore, la portata eccedente il massimo valore derivabile è scaricata attraverso la gàveta della briglia, oltre che tramite il varco per il DMV, che resta comunque aperto.

I paragrafi che seguono illustrano, nel dettaglio del calcolo, gli aspetti idraulici salienti.

	IMPIANTO IDRELETTRICO SUL TORRENTE ALBERONE PROGETTO DEFINITIVO RELAZIONE IDRAULICA	FILE:	152_PD_2.2_RH_00.docx
		Pag	7 di 44

2.2.1 Deflusso attraverso il solo varco per il DMV

Come accennato nei precedenti paragrafi, è prevista la realizzazione di un'apertura nel corpo della traversa dedicata al rilascio del deflusso minimo vitale. Tale apertura, in sostanza generata dall'abbassamento di una porzione della traversa, è dimensionata in modo che non vi possa essere derivazione dal torrente attraverso la presa in oggetto a meno che a valle della soglia non transitino una portata pari a non meno di 93 l/s, corrispondenti al deflusso minimo vitale calcolato per la sezione di presa.

La luce per il rilascio del DMV ha una larghezza complessiva di 1,00 m che sarà ricavato abbassando il tratto estremo in sinistra idraulica della traversa, portando in tale settore il ciglio di sfioro a 345,20 m s.l.m.

Per quanto sopra, nell'attuale configurazione di progetto, la luce per il DMV ha forma rettangolare, larghezza pari a 1,00 m, ed interessa tutta la sezione trasversale della traversa, di spessore pari a 1 m. Per valutare la portata che fluisce attraverso il varco per il DMV in tali condizioni si considera il varco stesso alla stregua di uno stramazzo in parete grossa mediante la relazione:

$$Q = C_q \cdot B \cdot h \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = 0.385 \cdot 1.00 \cdot 0.30 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 0.30} = 0.280 \text{ m}^3/\text{s}$$

In questo caso si ottiene per $h = 0,30$ m, $C_q = 0,385$, $B = 1,00$ m una portata: $Q = 0.280 \text{ m}^3/\text{s}$, notevolmente maggiore del DMV richiesto.

Quindi nelle condizioni minime per le quali si realizza la derivazione il rilascio a valle della portata di rispetto è ampiamente garantito.

Quanto sopra vale purché il varco per il DMV sia sgombro da sedimenti che ne elevino la quota di sfioro o ne occludano la luce libera. Per garantire tali condizioni si disporrà a monte della luce un'asta motorizzata che, ad intervalli prestabiliti, si abbasserà misurando il livello delle ghiaie. Per avere un doppio controllo a tale dispositivo meccanico si affiancherà un'asta stratigrafica a microonde in grado di leggere in continuo sia il livello dell'acqua sia l'altezza eventuali depositi sabbiosi. Le due aste saranno inserite nel sistema di controllo automatico dell'impianto. Raggiunto il valore di soglia per una delle due aste (massimo livello delle ghiaie o massimo livello delle sabbie) sarà automaticamente interrotto il funzionamento dell'impianto e saranno chiuse, sempre in automatico, le paratoie di intercettazione poste in testa al dissabbiatore. In tal modo, le portate naturali del torrente defluiranno completamente attraverso la gàveta della traversa fintanto che la luce del DMV non sarà ripulita.

In maniera del tutto analoga sarà controllata anche la paratoia orizzontale di regolazione del DMV che viene azionata in maniera automatica allo scopo di ottimizzare l'uso della risorsa idrica disponibile. Infatti, all'aumentare del livello idrico nel corso d'acqua, attraverso la soglia di rilascio

del DMV transirebbe una portata sensibilmente maggiore a quanto previsto durante la fase di valutazione della producibilità, con la conseguenza di limitare la disponibilità di acqua derivata e non rendere, quindi, l'impianto così economicamente vantaggioso rispetto a quanto previsto. L'impiego della paratoia di regolazione del DMV, posta in corrispondenza della soglia di passaggio dello stesso, limita tale inconveniente, in quanto all'aumentare della disponibilità idrica nel torrente e dunque del carico idraulico sulla soglia di rilascio del DMV, la paratoia parzializza la luce di rilascio facendo transitare a valle una portata pari al DMV calcolato consentendo la derivazione della portata residua, oltre che la congruità con le valutazioni economiche eseguite.

Il funzionamento della paratoia di regolazione del DMV è il seguente: finché la disponibilità idrica nel corso d'acqua in corrispondenza dell'opera di presa è inferiore o al più uguale a quella definita dal minimo deflusso vitale e dunque tale da non attivare la soglia di derivazione, la paratoia sarà completamente aperta e la soglia di rilascio libera per tutto il suo sviluppo; qualora si presenti un aumento della portata nel torrente tale da innescare anche la soglia di derivazione, la paratoia parzializzerà la soglia di rilascio del DMV della frazione necessaria a far defluire a valle una portata pari al DMV. La definizione del grado di restringimento in funzione del tirante disponibile sarà oggetto di una apposita taratura dell'intero sistema in fase realizzazione dell'opera. Una volta definita la relazione fra le due grandezze, l'insieme della strumentazione prevista sulla soglia di rilascio del DMV sarà in grado di leggere il tirante idrico disponibile e di inviarlo alla centralina di controllo collocata nella centrale di produzione, la quale rielaborerà il segnale definendo il grado di apertura della paratoia.

Per evitare possibili malfunzionamenti della paratoia, nonché la chiusura totale (accidentale o volontaria) della stessa, sono stati previsti dei finecorsa in acciaio posizionati in corrispondenza della massima escursione della paratoia, valutata in fase di taratura della stessa. In tal modo viene garantito che la luce di rilascio del DMV non verrà mai completamente chiusa.

Un secondo possibile mal funzionamento può essere legato al mancato rientro della paratoia e quindi al ripristino di tutta la soglia di rilascio del DMV quando il livello idrico torna a scendere, in tal caso la strumentazione posizionata sulla soglia registrerà una portata rilasciata inferiore al DMV abbassando istantaneamente la paratoia motorizzata di intercettazione della derivazione posta in ingresso al dissabbiatore e di fatto impedendo la derivazione, rendendo quindi necessario l'intervento di manutenzione. Fintantoché l'intervento di ripristino della paratoia di regolazione non sarà eseguito, tutta la portata in arrivo nel torrente può transitare attraverso la luce di rilascio del DMV e attraverso la gaveta della briglia, in attesa che l'intervento dei tecnici preposti ripristini le condizioni di funzionamento ordinarie.

	IMPIANTO IDRELETTRICO SUL TORRENTE ALBERONE PROGETTO DEFINITIVO RELAZIONE IDRAULICA	FILE:	152_PD_2.2_RH_00.docx
		Pag	9 di 44

Tutti i dati relativi al funzionamento del sistema di regolazione del DMV (livello idrico, grado di apertura ecc...) saranno comunque resi disponibili alle autorità competenti per la verifica dell'effettivo funzionamento della luce.

2.2.2 Meccanismo di derivazione

Il complesso sghiaiatore – dissabbiatore – vasca di carico, può essere “letto”, ai fini del calcolo, come una serie di stramazzi rigurgitati, controllati dalla quota del pelo libero che si mantiene nella vasca di carico. Procedendo nel senso della corrente si hanno infatti:

- la soglia di ingresso allo sghiaiatore primario, di lunghezza pari a 5,05 m
- la soglia di ingresso al dissabbiatore di lunghezza pari a 3,50 m munita di griglia a barre verticali per il trattenimento dei corpi solidi trasportati dalla corrente.
- La soglia di ingresso alla vasca di carico, di lunghezza pari a 3,50m.

Per quanto riguarda la soglia di ingresso nello sghiaiatore, posta a quota 345,50 m s.l.m., il deflusso avviene in condizioni di tipo libero, pertanto ne è stata calcolata la lunghezza necessaria a far defluire all'interno della struttura la massima portata derivabile (0,798 m³/s), assumendo un livello sopra la soglia h pari a 20 cm e un valore del coefficiente di portata C_Q di 0,4 trattandosi di uno stramazzo in parete “sottile” di tipo *Bazin*, essendo la soglia sagomata e dunque tale da non consentire la formazione dell'altezza critica sulla stessa, per cui:

$$L = \frac{Q}{C_Q' h \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}} = 5,05 \text{ m}$$

Il calcolo dei livelli liquidi che si instaurano, in condizione di massima derivazione, nelle varie vasche che compongono l'opera di presa è stato eseguito utilizzando le leggi che governano il deflusso a stramazzo di tipo rigurgitato (vedi Figura 1), in considerazione della scelta progettuale di impiegare delle soglie sfioranti di tipo rigurgitato quali setti di separazione fra le vasche. Tale scelta è stata preferita rispetto a quella di una soglia stramazza di tipo libero per il minor grado di turbolenza generato dalla vena stramazza, allo scopo di garantire un deflusso sulle soglie e nelle vasche il più regolare possibile per facilitare la deposizione dei materiali trasportati dalla corrente. Per la valutazione del dislivello del pelo libero tra monte e valle dello stramazzo si è adottata la seguente relazione, nella quale si considera il deflusso complessivo come sovrapposizione di una vena stramazza libera, di altezza y_1 e di una luce sotto battente rigurgitata, di altezza y_2 :

$$Q = B \left(\mu_1 y_2 \sqrt{2gy_1} + \frac{2}{3} \mu_2 y_2 \sqrt{2gy_1} \right)$$

potendo assumere, dalla letteratura tecnica, $\mu_1=0,59$ e $\mu_2=0,66$.

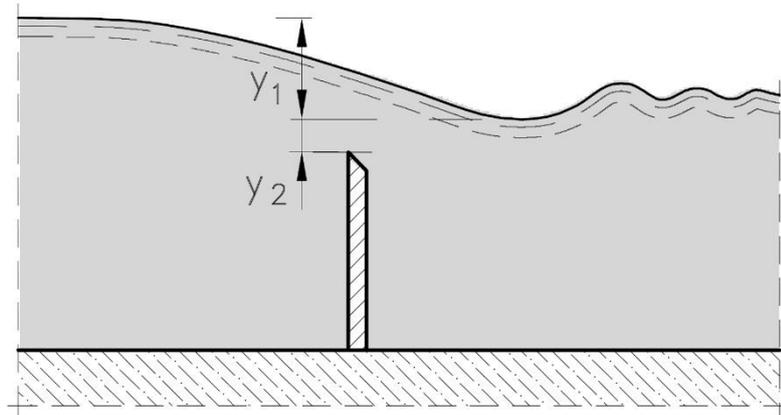


Figura 1: Schema dello stramazzo rigurgitato

Dislivello all'ingresso della vasca di carico: applicando la relazione sopra indicata con $B = 3,5$ m si ha:

$$y_1 = 0,10 \text{ m} \quad , \quad y_2 = 0,20 \text{ m}$$

essendo la quota della soglia a 345,10 m s.l.m. e la quota dell'acqua nella vasca di carico mantenuta costante a 345,30 m s.l.m., quindi la quota del pelo libero a monte della soglia in oggetto (ovvero nell'ultima sezione del dissabbiatore) si troverà a 345,40 m s.l.m..

Dislivello all'ingresso del dissabbiatore: nelle condizioni di deflusso della portata massima derivata, determinata la quota idrometrica che si stabilisce nel dissabbiatore (345,40 m s.l.m.) ed essendo la quota della soglia in oggetto posta ancora a 345,10 m s.l.m., si ricava dalla relazione precedentemente indicata:

$$y_1 = 0.05 \text{ m} \quad , \quad y_2 = 0,30 \text{ m}$$

In corrispondenza di tale soglia si prevede di collocare una griglia a barre verticali posta sopra lo stramazzo, la quale dà luogo ad una riduzione dell'area utile al deflusso con conseguente incremento della velocità e dunque ad una perdita di carico aggiuntiva che si è valutata con la relazione:

$$\Delta h = \beta \left(\frac{s}{b} \right)^{\frac{4}{3}} \frac{u^2}{2g} \text{sen} \alpha$$

ove $s = 1$ cm è lo spessore delle barre, $b = 3$ cm è l'interfero delle stesse, il coefficiente di forma della barra (Idelcik, 1979), è pari a 1,5 e $u = 0,78$ m/s la velocità media di deflusso, il tutto porge,

per le condizioni di deflusso rigurgitato di esercizio con la massima portata derivata, $\Delta h = 0,01$ m.

Per quanto sopra, la quota del pelo libero all'interno dello sghiaiatore risulta essere 345,46 m s.l.m..

2.2.3 Dimensionamento del dissabbiatore

La lunghezza da assegnare al dissabbiatore è stabilita in ragione dello spazio necessario alla sedimentazione delle particelle di materiale litoide di dimensione caratteristica d superiore a 0,5 mm.

La velocità di caduta in acqua ferma di tali particelle, w , discende dalla seguente relazione:

$$w = \sqrt{4d \frac{(\gamma_{snd} - \gamma)}{3\rho C_D}}$$

essendo

C_D un coefficiente che dipende dal numero di Reynolds del grano, Re^* e che, per valori di tale parametro compresi tra 1 e 500 si ha dalla relazione

$$C_D = \frac{18,5}{Re^{*0,6}} \text{ con } Re^* = \frac{\rho w d}{\mu}$$

$\gamma_{snd} = 26500$ kN/m³ il peso specifico del grano, $\rho = 1000$ kg/m³, $\mu = 1,5199 \times 10^{-3}$ kg/m,s rispettivamente la massa per unità di volume e la viscosità dinamica dell'acqua alla temperatura di 5°C.

Nel caso presente risulta $w = 0,060$ m/s con $Re^* = 21,91$ e $C_D = 2,90$.

Considerate le dimensioni interne della vasca di sedimentazione, in condizioni di deflusso della portata massima derivabile (0,798 m³/s) l'area liquida trasversale è pari a 3.25 m². Si può quindi stimare, cautelativamente, che la velocità media u che si verifica nel sedimentatore, in direzione orizzontale, sia pari a 0,25 m/s.

Note la velocità media orizzontale del moto e la velocità di caduta in acqua ferma è possibile ricavare la velocità di caduta della particella nell'acqua in moto attraverso la seguente relazione, che corregge w tenendo conto delle agitazioni turbolente del moto orizzontale:

$$v = w - \frac{u}{5,7 + 2,3 * h}$$

essendo $h = 1,30$ m il tirante idraulico nella sezione (si è considerata la canaletta di scarico inefficace al moto nel dissabbiatore); nel caso presente risulta $v = 0,03$ m/s.

La lunghezza teorica della vasca di sedimentazione discende da quanto sopra, imponendo che

	IMPIANTO IDRELETTTRICO SUL TORRENTE ALBERONE PROGETTO DEFINITIVO RELAZIONE IDRAULICA	FILE:	152_PD_2.2_RH_00.docx
		Pag	12 di 44

la particelle avente il diametro caratteristico di calcolo, entrando nella vasca a livello del pelo libero non ne percorrano tutta la lunghezza prima di averne raggiunto il fondo:

$$L' \geq \frac{v h}{u}$$

con i valori precedentemente calcolati risulta circa $L' = 8,00$ m.

La trattazione precedente considera un moto che si sviluppa seguendo linee di flusso regolari, alla lunghezza teorica si deve pertanto aggiungere quella delle porzioni della vasca immediatamente a valle dello sfioro di ingresso ed a monte dello sfioro di uscita, nelle quali il campo di moto, rispettivamente, si espande e si contrae. Per tenere conto di tali fenomeni di imbocco e sbocco la lunghezza complessiva della vasca, intesa come distanza tra gli sfiori che la delimitano, è stata assunta pari a 12,00 m.

2.2.4 Dimensionamento delle luci si scarico

L'efficienza dello scarico delle ghiaie operato nella sezione terminale dello sghiaiatore e delle sabbie nel dissabbiatore è determinata dalle dimensioni della bocca di scarico, che deve essere tale da non dar luogo ad ostruzioni e mantenere una velocità di uscita dalla bocca di scarico, che la letteratura tecnica (Indri, 1954) consiglia sia non minore di 5 m/s. Considerando il livello del pelo libero in condizioni di massimo esercizio e la luce di scarico completamente aperta si ha che la velocità di scarico è:

$$u_s = \sqrt{2gh}.$$

Sostituendo nell'espressione precedente ad h il valore del battente idraulico, che vale 2,16 m in corrispondenza della luce posta nello sghiaiatore e 2,20 m per quella nel dissabbiatore, si ottiene un valore della velocità dell'acqua in uscita dalla bocca pari a 6,5 m/s e 6,60 m/s rispettivamente.

2.2.5 Immissione nella condotta forzata

La condotta forzata è costituita da tubazioni in PRFV DN 600 mm. Per la portata di progetto, pari a 798 l/s, si hanno le seguenti condizioni medie di deflusso:

$$A_l = 0,27 \text{ m}^2$$

$$V = 2,95 \text{ m/s}$$

$$H_{CIN} = 0,44 \text{ m}$$

essendo A_l la sezione liquida e H_{CIN} il carico cinetico.

In condizioni di esercizio il livello idrometrico nella vasca di carico è fissato a 345,30 m s.l.m., essendo la quota del tubo posta a quota 344,10 m s.l.m. risulta una sommergenza minima pari a

	IMPIANTO IDRELETTRICO SUL TORRENTE ALBERONE <i>PROGETTO DEFINITIVO</i> <i>RELAZIONE IDRAULICA</i>	FILE:	152_PD_2.2_RH_00.docx
		Pag	13 di 44

1,20 m ovvero oltre il doppio del carico cinetico, valore che si ritiene ampiamente sufficiente ad assicurare l'immissione nella condotta forzata senza risucchio d'aria nella condotta stessa.

3 SCALA DI RIMONTA

3.1 INQUADRAMENTO ITTICO

L'elaborato "Studio Biologico", n. 6.3 del progetto Preliminare, riporta le seguenti informazioni per l'ittiofauna:

Le informazioni già esistenti per quanto riguarda l'ittiofauna presente nel torrente Alberone non sono molto aggiornate, tuttavia sono state confermate dall'osservazione diretta nel tratto sotteso effettuate nella primavera 2015 in seguito a perlustrazione di tutto il settore indagato. Secondo la classificazione presentata dalla Carta Ittica Regionale del Friuli Venezia Giulia (1988-1990) il torrente Alberone rientra nella categoria delle "acque a trota fario ed eventualmente scazzone e temolo". Secondo i dati presentati da Ente tutela pesca la specie più abbondante è *Salmo [trutta] trutta* (94%) e si accompagna al *Cottus gobio* (6%).

Frequenza percentuale nelle catture delle specie ittiche (1998)
n° tot = 72

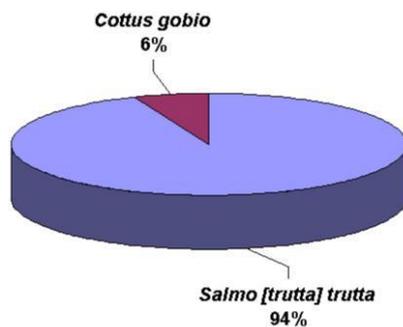


FIG.10. *Salmo [trutta] trutta* rappresenta la componente dominante dell'ittiofauna. Si registra la presenza dello scazzone seppur con minor abbondanza. Fonte: www.entetutelapesca.it/

Si rimanda alla relazione per eventuali approfondimenti, l'elemento fondamentale che emerge da quanto riportato è la presenza di specie che nuotano sul fondo (Scazzone) e salmonidi che invece superano gli ostacoli saltandoli. Lo studio riporta anche la presenza del gambero di fiume (*Austropotamobus pallipes*).

3.2 CARATTERISTICHE SITO

Le caratteristiche del sito in questione, particolari per la presenza di massi ciclopici che creano delle cascatelle (riferimento pag. 18 del succitato Studio Biologico).



Foto 1 - Cascatelle a valle dell'opera di presa

Si è scelto di ubicare la scala di rimonta in adiacenza al dissabbiatore sulla sponda destra in modo da ridurre la visibilità delle opere in calcestruzzo e per garantire il controllo e la manutenzione della luce di alimentazione.

La scala di rimonta verrà alimentata attraverso una coppia di luci, una funzionante sotto battente e l'altra come uno stramazzo rigurgitato, realizzate sulla vasca di calma a monte della traversa in grado di far convogliare una portata di 0.095 m³/s. Al termine della concessione le opere connesse con l'impianto di produzione saranno dismesse, la scala di rimonta potrà essere mantenuta e quindi protrarre la sua funzionalità nel tempo.

La quota di monte è pari alla quota idrometrica presente all'interno della vasca di calma, ossia 345.70 m s.l.m., la quota di valle è pari alla quota presente in alveo, ossia 343.10 m s.l.m.. Il salto idraulico è pari a 2.60 m.

3.3 DIMENSIONAMENTO SCALA

Si è scelto di utilizzare una scala a bacini successivi con stramazzo rigurgitato ed una luce di fondo.

La luce di fondo è necessaria per agevolare la risalita dello scazzone e del gambero di fiume, gli stramazzi rigurgitati sono invece più indicati per la risalita dei salmonidi. Il fondo sarà reso scabro con un substrato roccioso al fine di incrementare il gradiente di velocità fra il fondo della vasca e la superficie.



Figura 2: Esempi di realizzazione di un substrato roccioso su scale di rimonta (Comoglio, et al., 2013).

I setti verranno realizzati in acciaio e saranno rimovibili, ciò permetterà sia una pulizia della scala, sia eventuali modifiche al numero dei setti per adeguarli a future variazioni della portata rilasciata. A monte della scala verranno fissate dei tubi d'acciaio verticali $\phi = 50$ mm con interasse $i=30$ cm per impedire al materiale flottante di intasare la scala.

Le dimensioni minime dello stramazzo e della luce di fondo dipendono dalle specie considerate e dalle taglie degli animali che possono risalire il torrente Alberone, allo stesso modo il salto tra due bacini successivi dipende dalle capacità di nuoto delle specie considerate.

La velocità massima della corrente determinata da un salto pari ad H è:

$$v = \sqrt{2gH}$$

Il dislivello tra il pelo libero di due bacini successivi, che dipende dalla portata in ingresso e dalla larghezza della fessura, è previsto pari a 0.20 m.

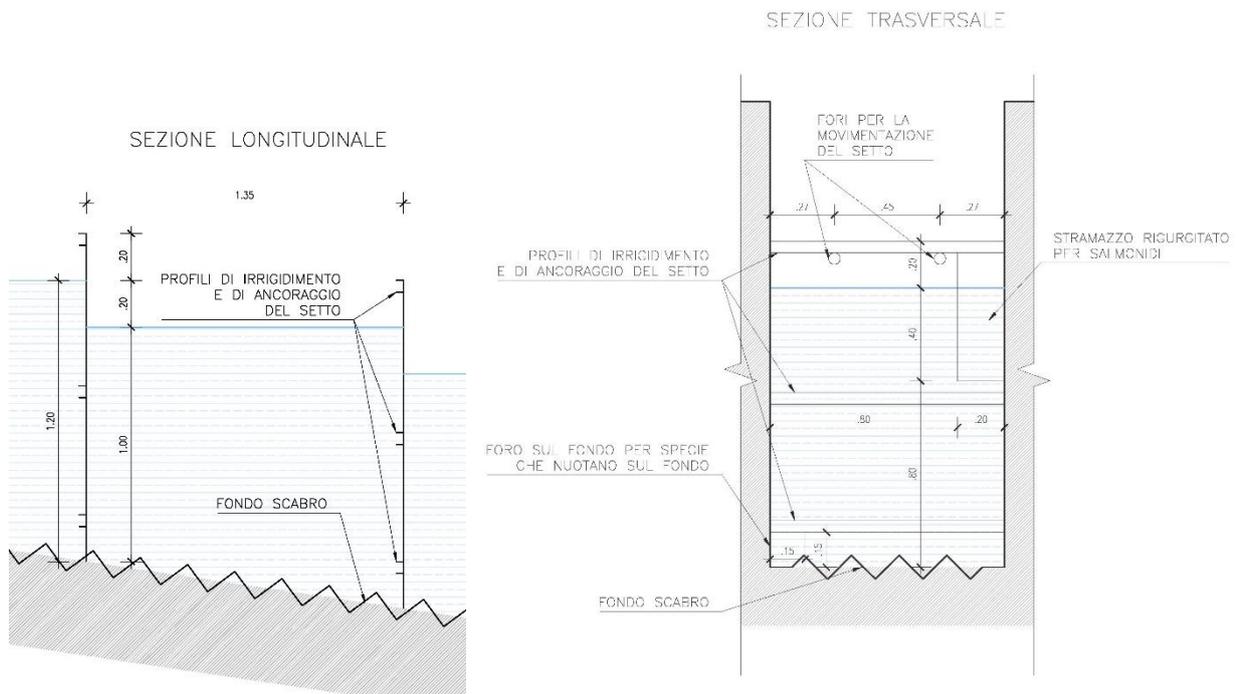


Figura 3: Sezione tipo longitudinale e trasversale della scala pesci in progetto.

La velocità all'interno della vasca, funzione della dimensione dei bacini e delle modalità di connessione tra essi, non deve superare la capacità natatoria del pesce che varia con la specie, la dimensione dell'esemplare e con la temperatura dell'acqua.

Il valore di velocità massima considerato per il dimensionamento è di inferiore a $v = 2.00$ m/s, e corrisponde alla capacità di risalita a 10°C di un esemplare di 20 cm, ossia di salmonidi giovani.

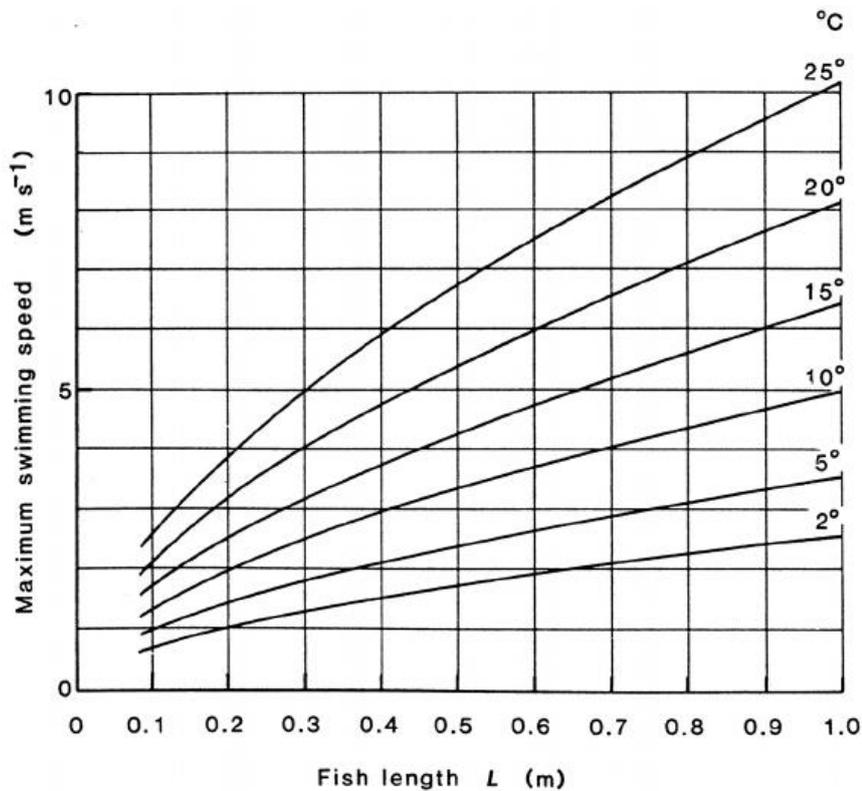


Figura 4 –relazione tra velocità natatoria massima, lunghezza dei salmonidi e temperatura (Beach'84)

In una scala pesci a stramazzi la vasca deve avere dimensioni sufficienti per permettere il riposo del pesce e per disperdere la turbolenza dovuta al salto tra una vasca e l'altra.

Il volume dei bacini può essere determinato considerando la potenza dissipata per unità di volume:

$$P = \frac{\rho g Q H}{\text{Volume}_{\text{vasca}}}$$

dove:

$P_{\text{MAX}} < 150 \div 200 \text{ W/m}^3$ per i salmonidi e lo scazzone

In base a quanto detto finora, è stato verificato il funzionamento della scala pesci utilizzando le seguenti formule:

$$Q_{\text{foro}} = C_d A \sqrt{2gH}$$

In cui:

$C_d = 0.65$ coefficiente di deflusso per foro di fondo;

$A = 0.0225 \text{ m}^2$ area del foro (0.15m x 0.15 m);

$H = 0.20 \text{ m}$ dislivello idraulico monte-valle del setto;

risulta quindi che la portata transitante dal foro di fondo è $Q_{\text{foro}} = 0.029 \text{ m}^3/\text{s}$.

Per lo stramazzo rigurgitato si è calcolato:

$$Q_{\text{stramazzo}} = K \cdot Q_d$$

In cui:

$$K = \left(1 - \sqrt{\frac{1-H}{a}} \right)^{0.385}$$

$$Q_d = C_d \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot a^{3/2}$$

$H = 0.20 \text{ m}$ dislivello idraulico monte-valle del setto;

$a = 0.20 \text{ m}$ larghezza dello stramazzo;

$b = 0.40 \text{ m}$ profondità dello stramazzo;

$C_d = 0.35$ coefficiente di deflusso per lo stramazzo.

risulta quindi che la portata transitante dallo stramazzo rigurgitato è $Q_{\text{stramazzo}} = 0.066 \text{ m}^3/\text{s}$.

In totale la portata che transita sulla scala di rimonta è pari a $Q_{\text{Scala}} = 0.095 \text{ m}^3/\text{s}$.

Considerato che il salto totale è pari a 2.60 m, e per ogni setto vi sono 0.20 m di salto, sono necessari 13 setti e 12 vasche. Le vasche hanno come lunghezza minima un valore pari a 1.30m, profondità minima 1.00 m e larghezza 1.00 m, pertanto la potenza dissipata è 144 W/m³.

Il corretto funzionamento della scala pesci è quindi verificato.

Infine, al fine di creare le variazioni planimetriche della scala di rimonta e per permettere il riposo degli animali che risalgono la corrente, due vasche hanno dimensioni doppie rispetto alle altre; non vi sono scalini, neppure fa l'ultima vasca (la più elevata) e l'alveo per garantire che tutte le specie possano passare attraverso la scala.

4 VERIFICA IDRAULICA CONDOTTA FORZATA

4.1 PERDITE DI CARICO

La stima delle perdite di carico è stata eseguita utilizzando la nota formula di Gauckler-Strickler in condizioni di massima portata di derivazione:

$$\Delta h = \frac{L}{K_S^2 \cdot A^2 \cdot R_h^{\frac{4}{3}}} \cdot Q^2$$

Dove:

L = 1930 m

$K_S = 110 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$

$Q = 0.798 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

D = 0.5870 m (diametro interno)

da cui $\Delta h = 17.92 \text{ m}$

Tali valori vengono aumentati del 5% per tener conto delle perdite localizzate lungo il tracciato.

Le perdite di carico totali della condotta forzata nella condizione di massima portata derivata, sono così quantificate:

$$\Delta h_{\text{TOT}} = 18.81 \text{ m}$$

4.2 VERIFICA DELLE PRESSIONI DI FUNZIONAMENTO

Il salto lordo disponibile è determinato dalla quota del pelo libero nella vasca di carico e dalla quota degli ugelli della turbina Pelton ad asse verticale. La quota nella vasca di carico è mantenuta pressoché costante a 345.30 m s.m.m. al variare della portata derivata grazie alla regolazione dell'apertura degli ugelli stessi, la quota dell'acqua degli ugelli è invece pari a 221.30 m s.m.m., dunque il salto lordo disponibile risulta $345.30 - 221.30 = 124.00 \text{ m}$.

In condizioni di esercizio a questo valore vanno sottratte le perdite di carico calcolate in precedenza ottenendo:

$$z_m - z_v - \Delta h = 105.19 \text{ m}$$

dove:

- $z_m = 345.30 \text{ m s.m.m.}$ quota del pelo libero nella vasca di carico;
- $z_v = 221.30 \text{ m s.m.m.}$ quota del pelo libero, ossia la quota degli ugelli della turbina;
- $\Delta h = 18.81 \text{ m}$ totale perdite di carico;

La pressione di esercizio che viene raggiunta nel punto più sfavorevole della condotta forzata (ingresso in centrale) è dunque di circa 10.52 bar.

Per la verifica dello spessore del tubo occorre aggiungere, alla pressione appena calcolata, la sovrappressione di colpo d'ariete che si ingenera a seguito della manovra di chiusura del distributore della girante. Questa sovrappressione è tanto più rilevante quanto maggiore è la celerità di detta manovra.

Una manovra lenta determina una sovrappressione limitata. La manovra può essere considerata lenta quando il tempo di chiusura è superiore al ritmo della condotta, così definito:

$$\tau = \frac{2 \cdot L}{a}$$

Dove:

- L = 1930 m lunghezza della condotta forzata;
- a = celerità di propagazione dell'onda di sovrappressione, definita dalla relazione:

$$a = \sqrt{\frac{E_{H2O}}{\rho \cdot \left(1 + \frac{d}{s} \cdot \frac{E_{H2O}}{E_{PRFV}}\right)}} \cong 470 \text{ m/s}$$

In cui:

- $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ densità dell'acqua;
- $E_{H2O} = 2.09 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ modulo di elasticità dell'acqua;
- $E_{PRFV} = 10 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ modulo di elasticità del PRFV;
- d = 0.587 mm diametro della fibra media del tubo;
- s = 15.0 mm spessore del tubo

Il ritmo della condotta risulta pertanto:

$$\tau \cong 8.21 \text{ s}$$

In caso di manovra lenta (quando il tempo di chiusura della valvola è superiore al ritmo condotta) la sovrappressione può essere calcolata con la formula di Michaud:

$$\Delta h = \frac{\tau}{\tau_c} \cdot \frac{a \cdot v_0}{g}$$

con:

- $v_0 \cong 2.95 \text{ m/s}$ velocità dell'acqua a regime dentro la condotta;

- τ_c = tempo di chiusura;
- g = accelerazione di gravità.

Il tempo di chiusura del distributore della turbina deve essere il più breve possibile al fine di evitare che il gruppo turbina-generatore raggiunga la velocità di fuga, pericolosa per l'integrità delle apparecchiature stesse. D'altro canto, però, il tempo di chiusura deve essere sufficientemente lungo da evitare forti sovrappressioni per colpo d'ariete in condotta.

Si è scelto di contenere la sovrappressione per colpo d'ariete al di sotto del 20% della pressione idrostatica locale e quindi entro un valore di 2.48 bar (cioè circa 24.80 metri di colonna d'acqua).

Il tempo di chiusura dovrà pertanto essere superiore a:

$$\tau_c = \frac{\tau}{\Delta h} \cdot \frac{a \cdot v_o}{g} \cong 47.s$$

Il valore calcolato dovrà essere il tempo minimo da dedicare alla manovra di chiusura dell'erogazione d'acqua. In questo caso alla pressione di esercizio vanno a sommarsi 2.48 bar.

Si ha che le pressioni massime interne alla tubazione (ingresso in centrale) risultano nelle diverse condizioni:

Tabella 2 – Pressioni massime di funzionamento (sezione di ingresso in centrale)

condizioni di carico	p_{max} [bar]
condotta in esercizio	10.52
chiusura lenta dell'erogazione	13.00

Le pressioni di esercizio sono dunque inferiori ai limiti di carico indicati dai costruttori delle tubazioni in PRFV.

La pressione di collaudo (par. 11.3.2 della norma UNI EN 805/2002) prevede che, con colpo d'ariete non calcolato, sia la minore fra:

$$P_{coll} = MDPa \times 1.5$$

$$P_{coll} = MDPa + 500 \text{ kPa (5 bar)}$$

Dove per MDPa: massima pressione progetto, in questo caso $MDPa = P_{idrostatica} = 12.40 \text{ bar}$, pertanto si ha:

$$P_{coll} = 17.40 \text{ bar}$$

Ne consegue che, nel caso dell'impianto idroelettrico Alberone, una tubazione PN16 ha una pressione massima idrostatica pari a $P_{idrostatica_MAX} = 11 \text{ bar}$ (110 m). Considerando la quota del

PMS = 345.30 m, si ha che tale tubazione è utilizzabile finché la quota del fondo tubo è a quota 235.30 m s.l.m. Tale quota corrisponde con la quota di ingresso in centrale, la successiva parte verticale in pozzo ed il collegamento con la turbina avverrà mediante una condotta in acciaio PN20.

L'ultimo tratto della condotta è realizzato in acciaio, lo spessore minimo richiesto per rientrare nel campo delle tensioni ammissibili per l'acciaio (L275 secondo UNI 10224/03), utilizzando la ben nota formula di *Mariotte* considerando una pressione di collaudo pari a 17.4 bar, è pari a circa 3.14 mm < 10 mm adottato.

CALCOLO SPESSORE CONDOTTA - Formula di Mariotte				
$\gamma_{\text{acqua}} =$	10'000	N/mc		
Acciaio	Fe410/L275	UNI 10224		
$f_d =$	190	N/mm ²		
$D_{\text{int}} =$	700	mm =	0.7	m
Sezione maggiormente sollecitata ingresso centrale (P collaudo)				
Pressione interna =	170.7	m =	1.707	N/mm ² 17.4 bar
$s_{\text{min}} =$	3.144	mm		
Sezione maggiormente sollecitata ingresso centrale (P max funzionamento)				
Pressione interna =	137.5	m =	1.375	N/mm ² 14.0 bar
$s_{\text{min}} =$	2.534	mm		

4.3 DIMENSIONAMENTO DELLE APPARECCHIATURE DI SFIATO

L'aria entra nel circuito dell'acqua, sotto forma di emulsione, in un luogo dove la pressione è prossima alla pressione atmosferica; è trasportata sotto forma di bolle o disciolta nell'acqua e se la pressione di quest'ultima aumenta, aumenta proporzionalmente la solubilità dell'aria nell'acqua. L'aria trasportata dall'acqua va a concentrarsi nei punti alti della condotta se non è prima se non è prima separata nelle tubazioni.

Nei punti alti (quindi ad una pressione inferiore), all'aria trasportata si aggiunge quella degasata dall'acqua; anche la perdita di carico fa cadere la pressione nella condotta, provocando il degasaggio dell'aria disciolta.

La letteratura è d'accordo nello stimare intorno al 2% della portata d'acqua il volume d'aria da eliminare su una condotta idrica.

L'origine dell'aria nelle condotte è dovuta sostanzialmente a due cause:

1) cause accidentali:

- messa in servizio di una condotta nuova;

- riattivazione di una condotta già posata;
- riempimento di una condotta parzialmente vuota (dopo una riparazione).

2) cause di utilizzo:

- aria aspirata nella condotta dalla vasca di carico in testa;
- aria che entra dalle guarnizioni dei giunti;
- aspirazione d'aria in emulsione nell'acqua di un bacino, questa emulsione viene provocata dal movimento stesso dell'acqua.

Normalmente l'aria deve entrare o uscire dalla condotta a seconda delle condizioni di utilizzo:

- l'aria deve uscire:
 - all'attivazione della condotta.
- L'aria deve entrare:
 - quando vi è una rottura della condotta con fuoriuscita d'acqua (rottura causata da scavi attigui, smottamento o assestamento del terreno);
 - apertura accidentale della saracinesca a valle durante lo svuotamento della condotta.

La presenza d'aria in una condotta compromette il funzionamento dell'impianto e causa danni a volte irreparabili:

- interruzione totale o parziale della portata a causa di una sacca d'aria in un punto alto,
- colpi d'ariete dovuti all'espansione della bolla d'aria o alla sua migrazione lungo la condotta.

Se alcune perturbazioni originano solamente dei fastidi, i colpi d'ariete possono essere fatali alle condotte o alle apparecchiature.

Nel caso specifico, la condotta forzata non ha punti convessi dove l'aria trasportata potrebbe accumularsi. Risulta comunque indispensabile inserire degli sfiati "a tre funzioni" distribuiti con criterio lungo la condotta.

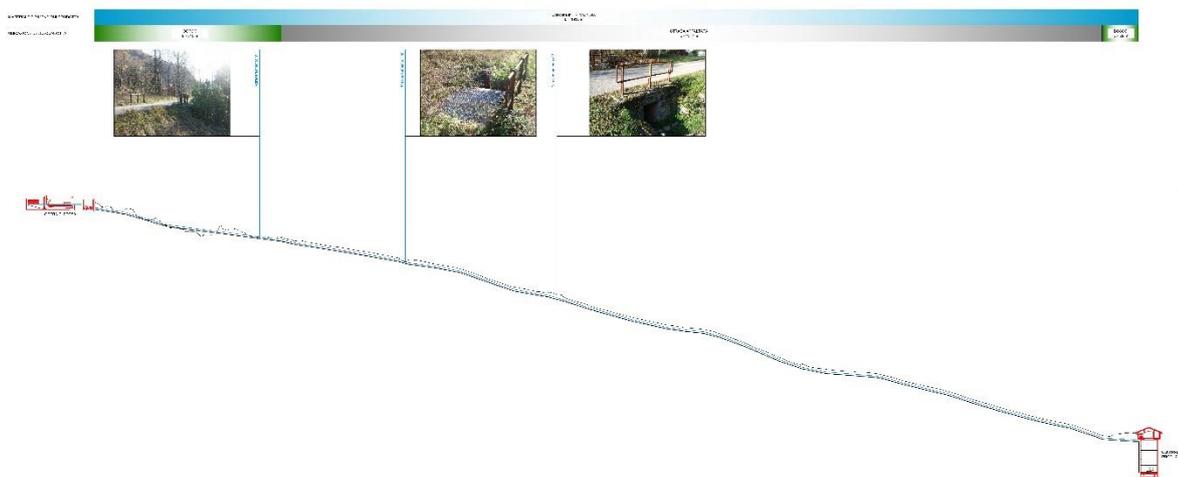


Figura 5: profilo longitudinale della condotta forzata

Le tre funzioni di questo tipo di sfiato sono:

1. scarico automatico dell'aria al momento del riempimento della condotta;
2. degasaggio continuo: funzionamento come spurgo;
3. introduzione di grandi portate d'aria al momento dello svuotamento della condotta, per evitare la messa in depressione della stessa.

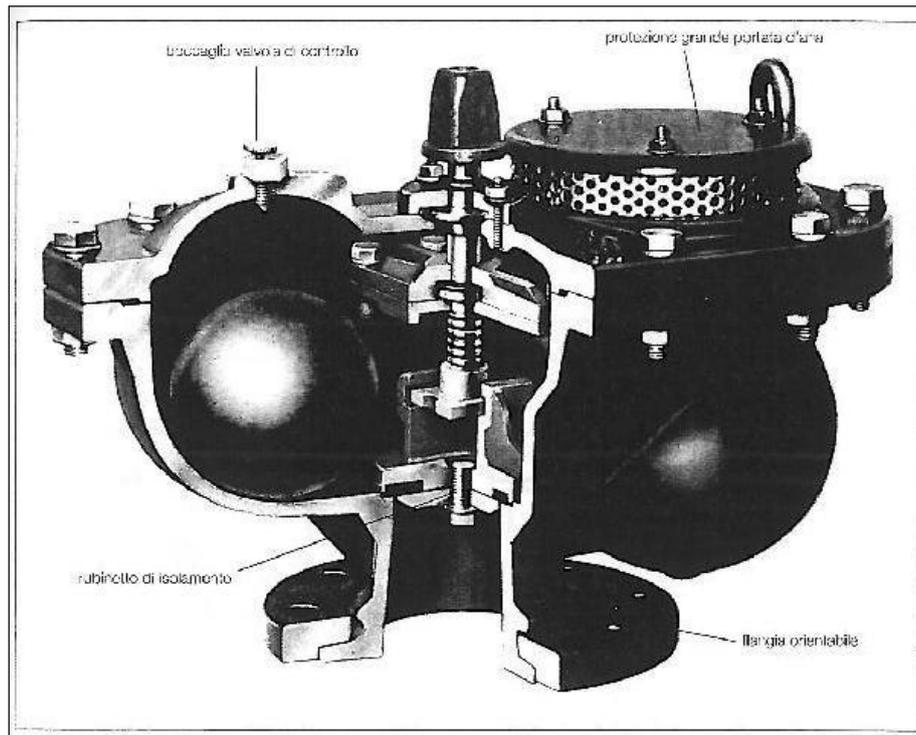


Figura 6: Sezione tipologica sfiato a tre funzioni

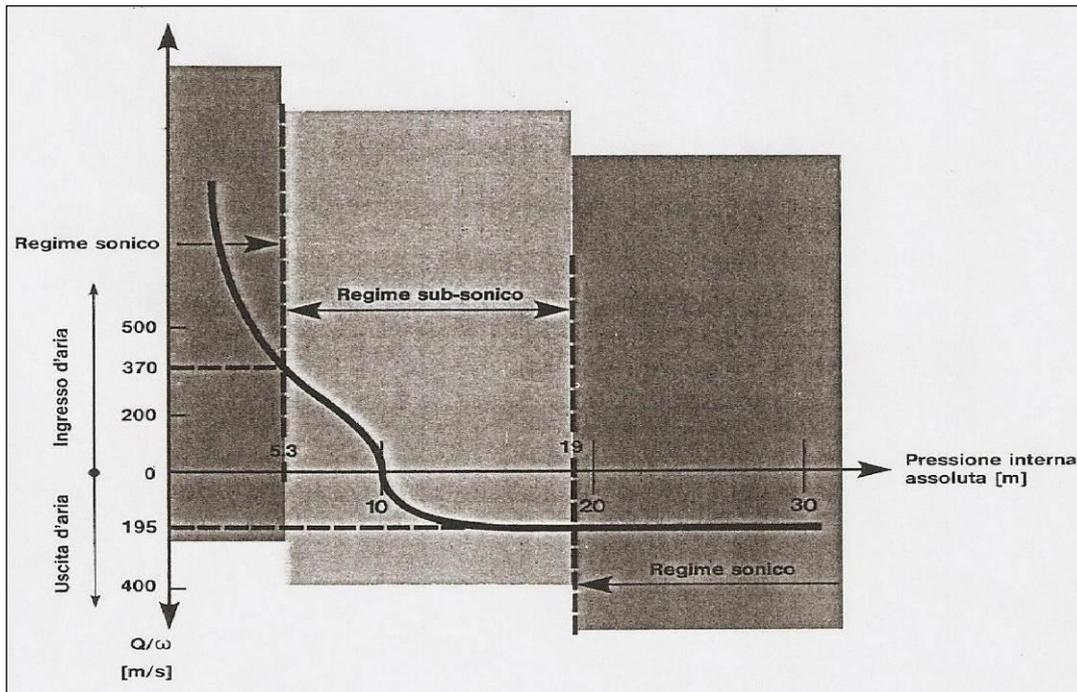


Figura 7: Portate di aereiforme entranti od uscenti attraverso una sezione di sfiato, valutate in corrispondenza all'ambiente interno della condotta e poste funzione della pressione assoluta vigente in condotta (ω area orifizio in mq)

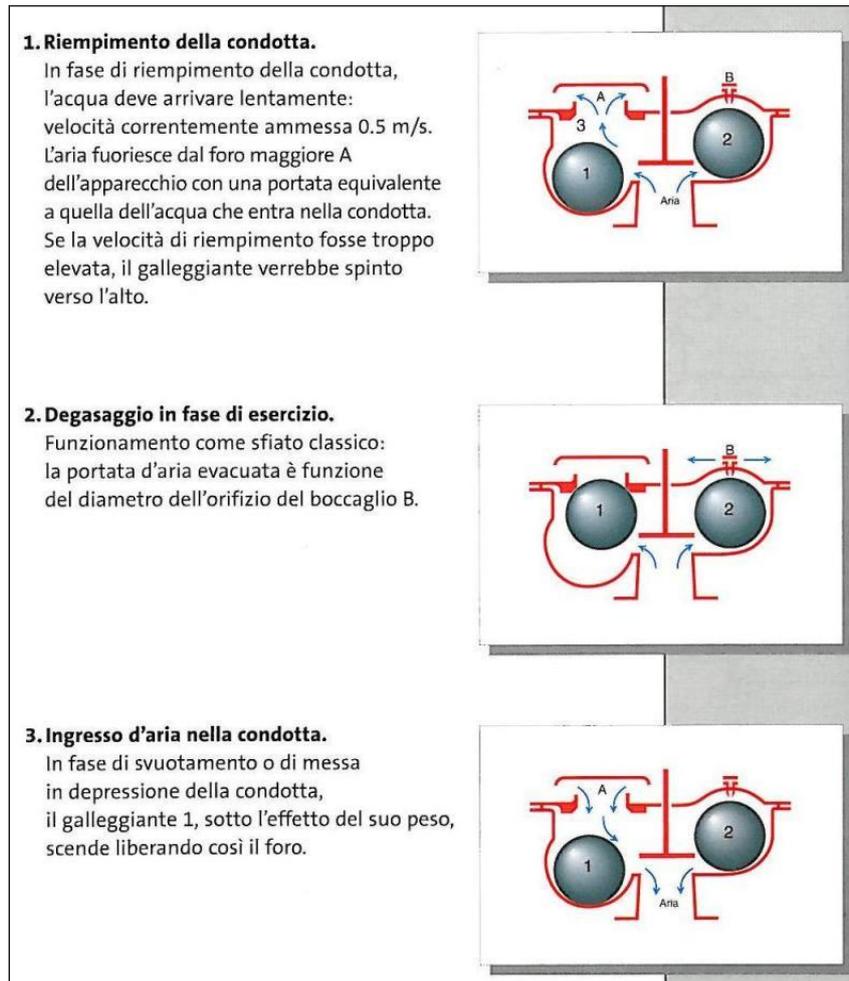


Figura 8: Funzionamento sfiato a tre funzioni

Per il dimensionamento delle apparecchiature di sfiato si considera in questa sede l'ipotesi più cautelativa di porre la sezione d'ingresso dell'aria in modo da garantire una portata entrante pari alla portata massima di svuotamento del sistema a seguito di una rottura grave accidentale della condotta.

La distribuzione degli sfiati lungo la condotta viene fatta in modo da espellere l'aria nei punti convessi (alti) nonché limitare la depressione massima a 0.3 bar per una portata risultante dal deflusso libero su una data pendenza (rottura libera di una condotta di $\epsilon = 0.1$ mm, con la formula di Colebrook) secondo il seguente abaco:

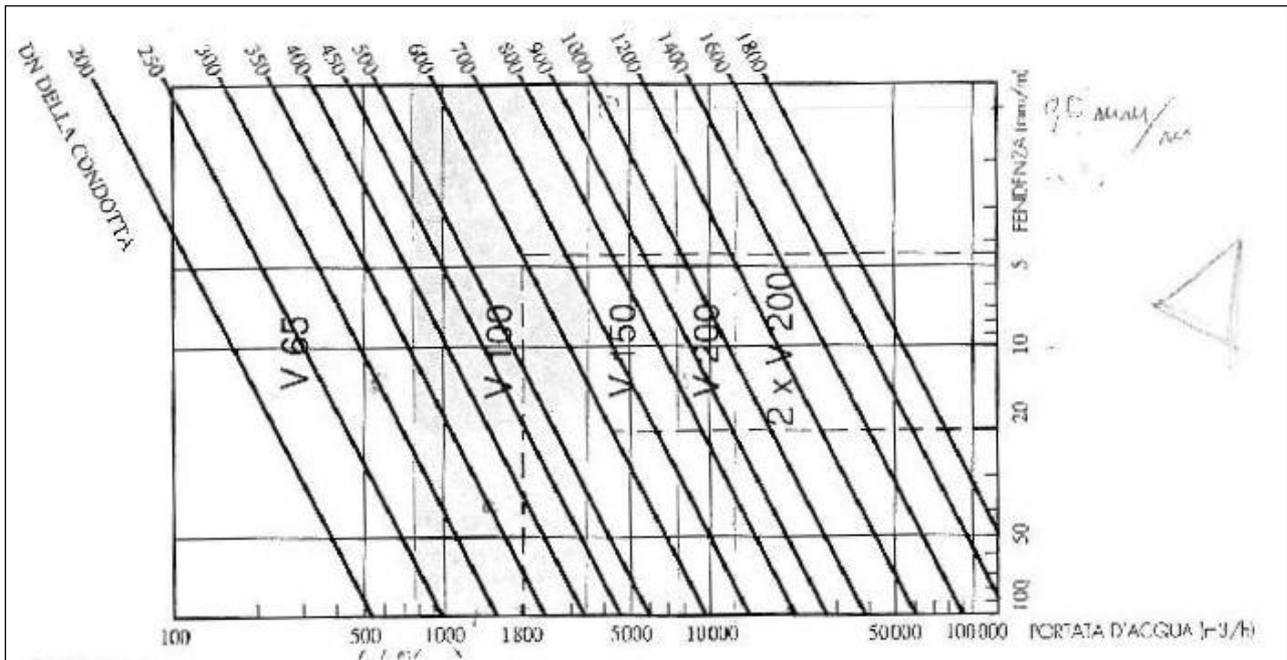


Figura 9: Abaco per il dimensionamento degli sfiati in condotta

Considerando una pendenza media della condotta del 6% si evince che per la condotta di diametro pari a DN 600 è necessario utilizzare uno sfiato a tre funzioni DN 100 intervallati, per esigenza costruttiva, ogni 500÷600 m circa, in modo da posizionarli in corrispondenza degli attraversamenti. E' particolarmente importante la posizione di uno sfiato a valle del tratto di condotta forzata posata nella sede stradale sita in area con criticità idrogeologica PAI P4. Nel caso vi fossero danneggiamenti alla condotta conseguenti alla caduta massi sulla sede stradale, il rientro d'aria impedirà il collasso della condotta nel tratto a valle; come già evidenziato in precedenza, la valvola di sezionamento in testa alla condotta chiuderà la derivazione in maniera automatica al rilevamento dell'aumento di velocità.

5 VERIFICA IDRAULICA DELLA RESTITUZIONE

Le acque turbinate dalla turbina Pelton vengono scaricata nella sottostante vasca posta lateralmente alla stessa e della dimensione di 5.00 x 2.00 x 2.50 h. Questa vasca di scarico è collegata, mediante una galleria realizzata con microtunneling, al pozzetto di raccordo dal quale si diparte il tubo il c.a. DN 800 mm.

In queste condizioni il canale scatolare di scarico, con pendenza longitudinale costante pari allo 0.5% è in grado di smaltire la portata massima turbinata con un tirante di circa 0.35 m nella galleria, un tirante di 0.56 m nel tubo in c.a. ed un grado di riempimento y/D inferiore al 70%, garantendo in questo modo l'areazione in condotta che migliora le condizione di deflusso.

Le velocità sono inferiori a 2.5 m/s, garantendo così la durata del manufatto per la durata di esercizio.

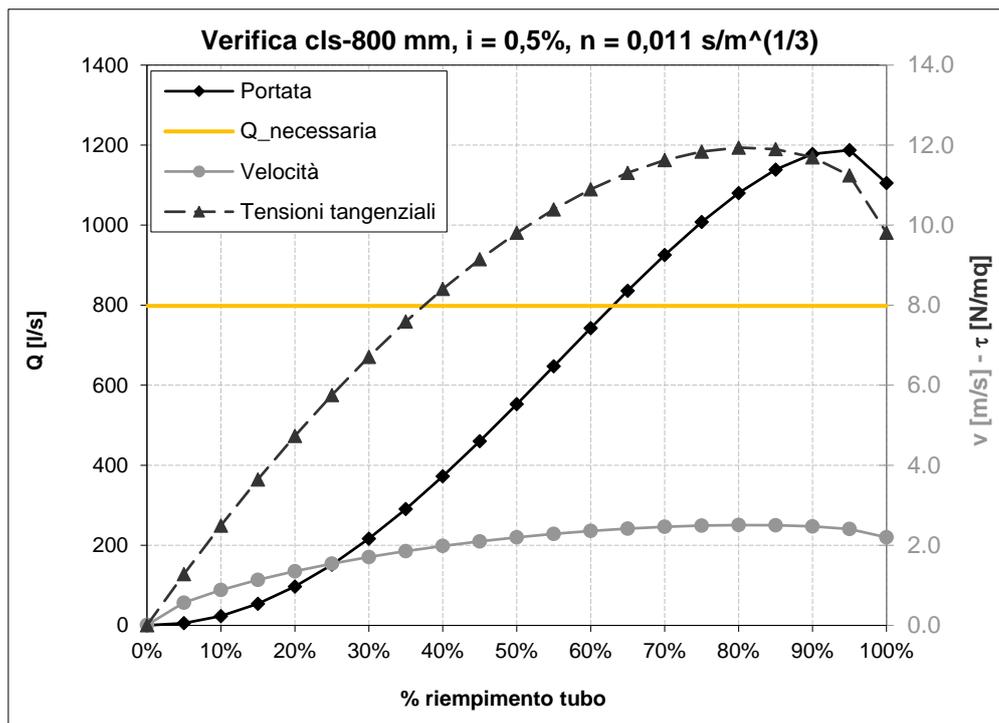


Figura 10 - Caratteristiche idrauliche della tubazione di scarico

La quota del fondo del canale di scarico in corrispondenza dello sbocco è posta superiormente al livello idrometrico ordinario in alveo del torrente Alberone che garantisce lo smaltimento agevole delle portate in ogni condizione di funzionamento dell'impianto. Nei casi di piene estreme il canale di scarico non sarà interessato da rientri d'acqua o da materiale grossolano.

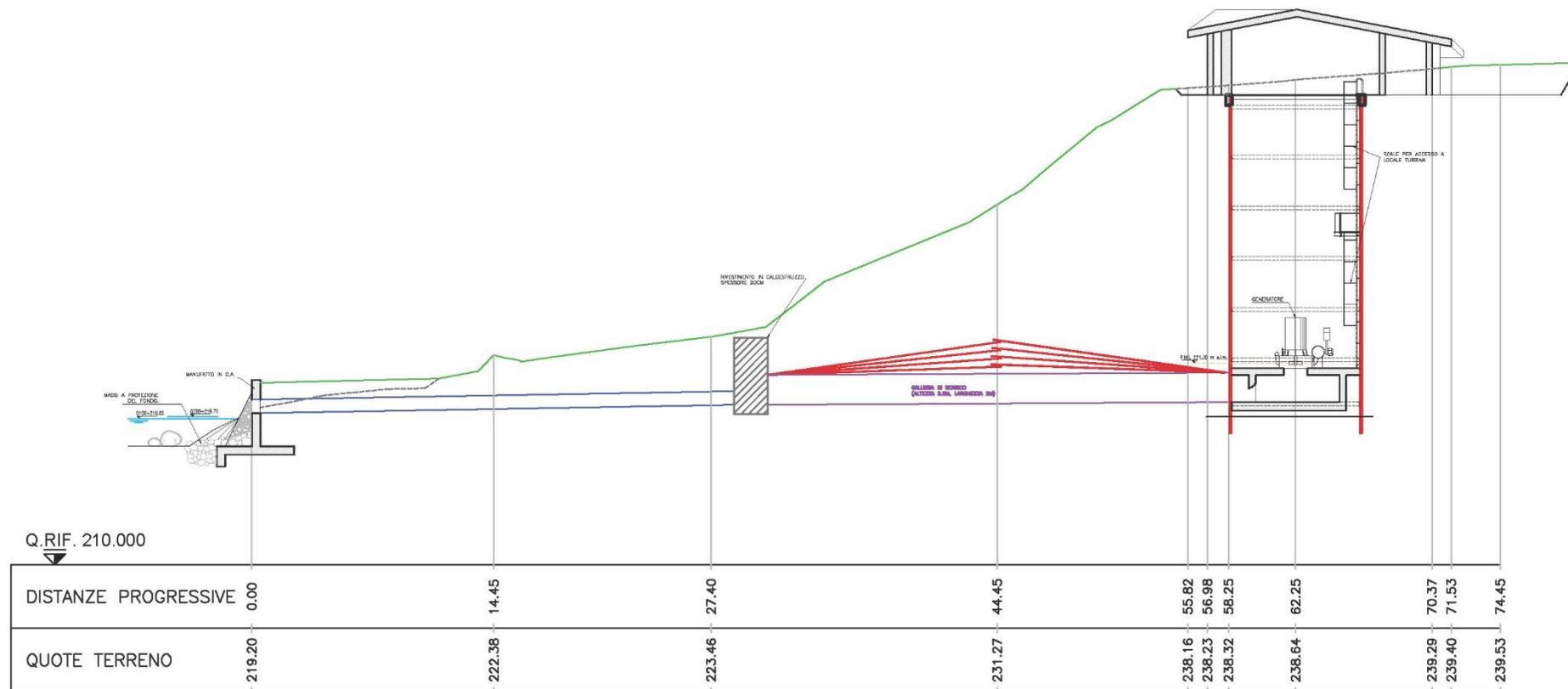


Figura 11 – estratto sezione manufatto di scarico della centrale.

	IMPIANTO IDRELETTRICO SUL TORRENTE ALBERONE PROGETTO DEFINITIVO RELAZIONE IDRAULICA	FILE:	152_PD_2.2_RH_00.docx
		Pag	31 di 44

6 VERIFICHE IDRAULICHE DI PIENA

6.1 MODIFICHE RISPETTO AL PROGETTO PRELIMINARE

In sede di Valutazione di assoggettabilità alla VIA, il Servizio difesa del suolo (Area tutela geologico-idrico-ambientale della Direzione centrale ambiente ed energia, RAFVG) ha osservato, con documento prot. n. SDIS/UD rif. SCR/1440, che l'opera di presa e la centrale di produzione ricadevano in area P3 (area ad elevata pericolosità idraulica) del PAI del Bacino dell'Isonzo; in tale area non è possibile realizzare l'edificio della centrale idroelettrica.

Si è pertanto deciso di modificare la posizione e la configurazione della centrale, essa è stata infatti realizzata con una configurazione a pozzo che permette sia il posizionamento esterno all'area P3, sia la riduzione delle dimensioni dell'edificio centrale, sia un accesso carrabile più semplice e diretto.

Per quanto concerne l'opera di presa, essa non va ad aumentare la pericolosità idraulica e la sua costruzione in area P3 non è vietata dalle norme di attuazione del PAI.

6.2 MODELLO MONODIMENSIONALE

Per la ricostruzione dell'andamento del pelo libero della corrente nei tratto d'alveo d'interesse si è impiegato un modello monodimensionale per lo studio delle correnti gradualmente varie lungo il corso d'acqua. Tale modello permette di calcolare l'altezza idrometrica che si verifica in diverse sezioni d'alveo tra le quali le condizioni di moto varino progressivamente. La schematizzazione di bruschi cambiamenti nel regime della corrente è rappresentata introducendo sezioni nelle quali si concentrano particolari singolarità geometriche o del moto della corrente.

Per la realizzazione delle simulazioni si è impiegato il codice di calcolo HEC-RAS versione 4.0, sviluppato dall'U.S. Army Corps of Engineers (USACE)¹ che permette l'esecuzione di simulazioni in condizioni di moto permanente e vario (ovvero condizioni di moto variabili nel tempo).

Nel caso presente si sono analizzate condizioni di moto permanente: il profilo liquido è ricostruito integrando alle differenze finite l'equazione differenziale che esprime il bilancio dell'energia totale della corrente:

¹ River Analysis System edizione 4.0 del marzo 2008, sviluppato da US Army Corps of Engineers - Hydrologic Engineering Centre: si rimanda, per le specifiche informazioni sul software al manuale d'uso reperibile nel sito www.hec.usace.army.mil.

$$\frac{dE}{ds} = -S_f$$

nella quale E è l'energia totale della corrente in una data sezione, espressa per unità di massa e in riferimento ad una quota comune di riferimento, tale parametro è dato dalla somma delle componenti cinetica e di posizione secondo l'espressione

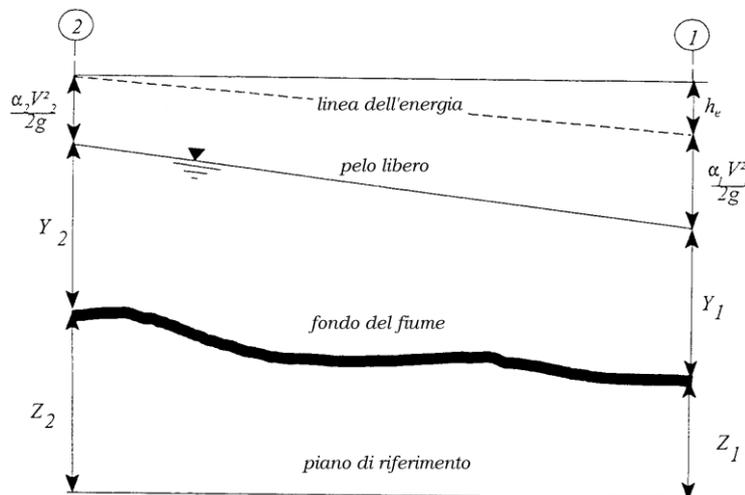
$$E = z + y + \alpha \frac{V^2}{2g}$$

essendo z la quota assoluta del fondo alveo, y l'altezza d'acqua (tirante) e V la velocità della corrente, mentre S_f indica la perdita di energia (per unità di peso del liquido) dovuta alle perdite distribuite del tronco d'alveo tra le due sezioni di calcolo.

Integrando la precedente equazione differenziale con riferimento ad un tratto di lunghezza Δs , compreso tra due sezioni generiche, S_2 a monte ed S_1 a valle, si ha:

$$E_2 - E_1 = S_{fm} \cdot \Delta s$$

dove, al secondo membro è stato introdotto il termine S_{fm} che esprime le perdite di carico continue medie nel tratto Δs .



L'espressione precedente può essere esplicitata nel seguente modo:

$$y_2 + z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = y_1 + z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

in cui

y_1 e y_2 sono i tiranti idrici nelle sezioni S_1 e S_2 , rispettivamente;

V_1 e V_2 sono le velocità medie nelle sezioni S_1 e S_2 , rispettivamente;

α_1 e α_2 sono i coefficienti di Coriolis nelle sezioni S_1 e S_2 , rispettivamente;

h_e sono le perdite di carico fra le due sezioni; per maggiore generalità si includono in questo termine sia le perdite distribuite legate alla resistenza al moto sulla superficie delle sponde e dell'alveo sia quelle localizzate legate a brusche variazioni della geometria della sezione (con conseguenti contrazioni ed espansioni della corrente) analiticamente h_e si esprime come:

$$h_e = \Delta s \cdot S_{fm} + C \cdot \left[\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right]$$

dove:

Δs è sempre la lunghezza del tratto considerato;

S_{fm} è ancora la pendenza della linea dei carichi totali;

C è il coefficiente per le perdite localizzate (contrazione ed espansione) che dipende dalle condizioni geometriche del tratto considerato.

Il valore dei coefficienti di contrazione ed espansione è stato assunto rispettivamente nei valori usualmente suggeriti dalla letteratura tecnica, rispettivamente 0.1 e 0.3.

Le perdite di carico distribuite sono state assunte pari alla pendenza motrice a moto uniforme, così com'è definita attraverso la relazione di Chèzy, esprimendo la scabrezza con l'espressione di Strickler:

$$Q = K_s A R_H^{2/3} \sqrt{i} = \frac{1}{n} A R_H^{2/3} \sqrt{i}$$

nella quale:

A è l'area della sezione liquida;

R_H è il raggio idraulico;

K_s è il coefficiente di Strickler;

n è il coefficiente di scabrezza di Manning (pari al reciproco del precedente), si è citata anche tale espressione essendo impiegata nel codice di calcolo adottato;

i è la pendenza media del fondo alveo.

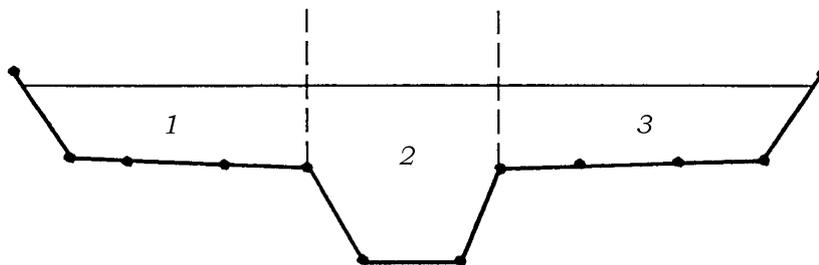
La relazione precedente può essere riscritta nel seguente modo:

$$Q = K \sqrt{i}$$

in cui il termine K (conveyance o capacità di portata) misura l'attitudine di una data sezione a far defluire le portate.

Per tenere conto della disomogeneità trasversale comune alla maggior parte delle sezioni d'alveo naturali i parametri caratteristici di ciascuna sezione assunti nel modello sono determinati

mediando gli stessi parametri valutati in sottosezioni nelle quali si possano ritenere omogenee le caratteristiche del moto e della sezione. Il modello adottato, in particolare, divide l'alveo in tre sottosezioni nelle quali la velocità media è ritenuta costante: l'alveo principale (indicato con il pedice CH nel prosieguo) e le due golene sinistra e destra a lato di quest'ultimo (indicate con i pedici LOB e ROB). Le tre sottosezioni sono caratterizzate, oltre dalle loro caratteristiche geometriche, anche da valori di scabrezza delle pareti potenzialmente diversi, in ragione della diversa natura o del diverso stato vegetativo delle pareti stesse.



La capacità di portata della sezione nel suo complesso è data dalla somma delle capacità delle tre sottosezioni, dovendo essere, in virtù dell'ipotesi di moto monodimensionale, la cadente piezometrica, uguale per ciascuna di esse, si ha allora:

$$K_t = K_{LOB} + K_{CH} + K_{ROB}$$

essendo, per ciascuna sottosezione:

$$K_i = \frac{1}{n_i} A_i R_{H,i}^{2/3} Q$$

Il calcolo delle perdite di carico distribuite nel tratto tra due sezioni consecutive è assunto pari alla media dei valori che si ottengono calcolando le perdite di carico con i parametri del moto determinati per le due sezioni. In particolare, il modello utilizzato media il valore delle perdite distribuite sulla capacità di portata:

$$S_{fm} = i_m = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2$$

La ricostruzione del profilo liquido attraverso l'integrazione delle equazioni differenziali del bilancio energetico, necessita, oltre che dei parametri descrittivi delle sezioni (forma, elevazione, scabrezza delle superfici) della conoscenza della quota liquida nella sezione iniziale del processo di integrazione (ovvero della condizione al contorno).

	IMPIANTO IDRELETTRICO SUL TORRENTE ALBERONE PROGETTO DEFINITIVO RELAZIONE IDRAULICA	FILE:	152_PD_2.2_RH_00.docx
		Pag	35 di 44

Il verso dell'integrazione e, di conseguenza, la sezione ove porre la condizione al contorno dipende, per le note leggi dell'idrodinamica, dal regime di moto del quale si integra il profilo: moti subcritici (correnti lente) devono essere ricostruiti partendo dalla sezione estrema di valle, viceversa le correnti rapide (supercritiche) risentono solo delle condizioni di moto a monte e devono quindi essere integrati procedendo dalla sezione estrema di monte.

In realtà, specialmente nello studio degli alvei torrentizi, è necessario sviluppare delle analisi nelle quali non si imponga a priori il tipo di moto che si instaura, anzi, si deve prevedere la possibilità che si succedano tronchi con diverse condizioni di moto.

Per tale motivo in genere, ed in particolare nel caso presente, si è proceduto eseguendo per ciascuna simulazione una duplice integrazione (mixed flow) procedendo da monte con l'integrazione di un moto in corrente rapida e da valle con un'integrazione in corrente lenta e valutando per ogni sezione la spinta totale legata alle altezze d'acqua calcolate. Tale procedimento permette di stabilire le condizioni di moto senza ipotesi aprioristiche e, soprattutto, di localizzare l'eventuale transizione da corrente rapida a lenta e viceversa.

6.2.1 Simulazione del tronco torrentizio sul quale insiste l'opera di presa

Il tronco del torrente Alberone sul quale insiste l'opera di presa è caratterizzato da una pendenza media pari 0.07. In tale tratto il torrente scorre in un alveo avente un andamento planimetrico e altimetrico regolare. L'opera sarà posizionata subito a valle di un ponte esistente, il cui impalcato poggia direttamente sulle spalle essendo sprovvisto di pile in alveo. A monte dell'attraversamento le sponde si presentano fin da subito molto ripide e ricoperte da vegetazione di basso fusto. A valle del ponte le condizioni della geometria non mutano. L'alveo si presenta caratterizzato da un materiale di fondo di modesta dimensione tale da dar luogo in alcuni tratti a deviazioni planimetriche della corrente e alla formazione di piccoli salti naturali. Per le ragioni sopra esposte si è assunto per l'alveo un valore del coefficiente di scabrezza di Manning piuttosto cautelativo pari a 0.05.

L'opera di presa è formata essenzialmente da una traversa fissa di nuova realizzazione, avente lo scopo di rallentare la corrente in arrivo e permetterne la derivazione laterale attraverso uno scolmatore, e da una serie di vasche, poste all'interno della sponda in sinistra idraulica e lateralmente al corso d'acqua, aventi lo scopo di ripulire l'acqua dai materiali solidi trasportati. Vista la particolarità del caso trattato, ossia la vicinanza del ponte esistente alla traversa di nuova realizzazione, sono state eseguite più simulazioni allo scopo di valutare i livelli liquidi che si verificano in corrispondenza del ponte durante la piena centenaria stimata pari a 97,4 m³/s e per la piena bicentenaria (Tr=200 anni) valutata in 109,0 m³/s (vedi Elaborato 2.1 Relazione Idrologica) prima e dopo la realizzazione dell'opera di presa. Per prima cosa è stato simulato il

	IMPIANTO IDRELETTRICO SUL TORRENTE ALBERONE <i>PROGETTO DEFINITIVO</i> <i>RELAZIONE IDRAULICA</i>	FILE:	152_PD_2.2_RH_00.docx
		Pag	36 di 44

comportamento della corrente nello stato di fatto, per il quale sono state ricavate dal rilievo eseguito in loco sei sezioni trasversali che sono state inserite all'interno del codice di calcolo e successivamente raffittite attraverso un'operazione di interpolazione lineare, alle quali è stata aggiunta la sezione contenente la geometria del ponte esistente e delle spalle dello stesso. Dalla simulazione eseguita relativamente allo stato di fatto, di cui si riporta il profilo longitudinale ricavato, si osserva come in corrispondenza del ponte la sezione subisca un leggero restringimento planimetrico. Visto il carattere supercritico della corrente in arrivo, il grado di restringimento non è tale da provocare la transizione da moto rapido a lento con passaggio per lo stato critico, ma si verifica solamente un modesto incremento del tirante idraulico. La massima quota liquida raggiunta in corrispondenza del ponte è di 349,20 m s.l.m. per l'evento con $Tr=100$ anni, 349,24 m s.l.m. per quello con $Tr=200$ anni. A valle del ponte la corrente mantiene la propria natura supercritica per via della forte pendenza del fondo. In particolare in corrispondenza della sezione in cui sorgerà la traversa il livello liquido per la piena centenaria raggiunge la quota di 346,47 m s.l.m. mentre quella bicentenaria è di 346,55 m s.l.m..

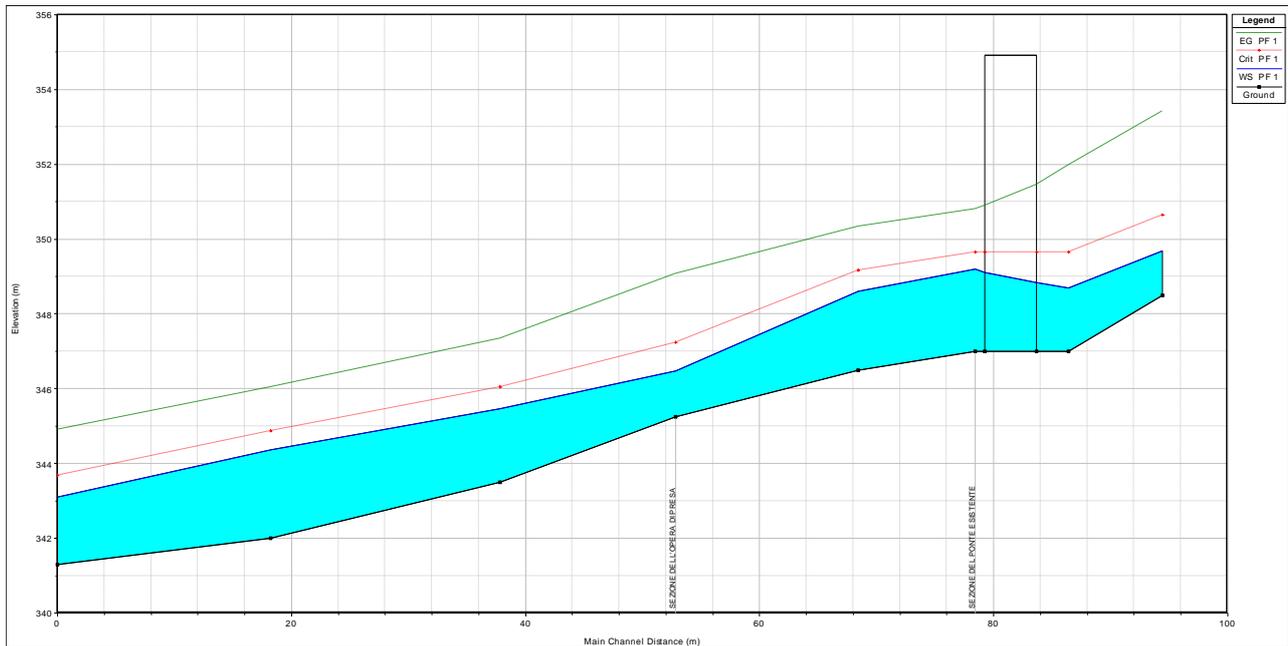


Figura 12: Profilo longitudinale della corrente per la portata con $T_r=100$ anni – stato di fatto

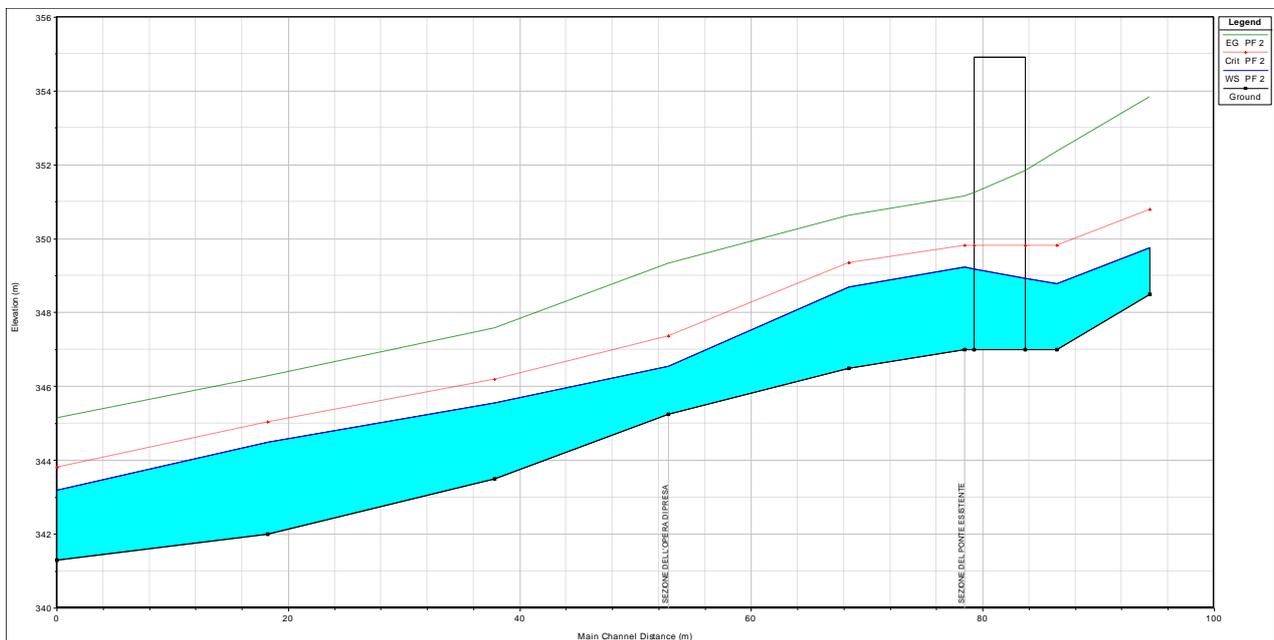


Figura 13: Profilo longitudinale della corrente per la portata con $T_r=200$ anni – stato di fatto

Successivamente è stato modellato il comportamento della corrente durante la piena centenaria e bicentenaria relativamente allo stato di progetto, ossia sono stati inserite nel codice HEC – RAS gli interventi previsti dal presente progetto. In particolare la presenza della nuova traversa e le attività di sistemazione e protezione del fondo previste a monte e a valle della stessa. La

	IMPIANTO IDRELETTRICO SUL TORRENTE ALBERONE <i>PROGETTO DEFINITIVO</i> <i>RELAZIONE IDRAULICA</i>	FILE:	152_PD_2.2_RH_00.docx
		Pag	38 di 44

simulazione eseguita mostra i livelli liquidi che si verificano in corrispondenza delle varie sezioni durante la piena centenaria ($Q=97,4 \text{ m}^3/\text{s}$) e bicentenaria ($109,0 \text{ m}^3/\text{s}$). I risultati sono rappresentati dalle figure seguenti che riporto il profilo longitudinale della corrente nel tratto in esame per lo stato di progetto. Come si può notare dal confronto fra lo stato di fatto e quello di progetto il livello liquido in corrispondenza del ponte mantiene la quota di 349,20 m s.l.m durante l'evento con $Tr=100$ anni e quello di 349,24 per quello con $Tr=200$ anni, pertanto non viene alterato dalla costruzione delle opere previste dal presente progetto. A valle del ponte, il progetto non prevede un'alterazione della pendenza del fondo nel tratto compreso tra la nuova briglia e il ponte esistente pertanto la corrente mantiene il proprio carattere supercritico. In corrispondenza della nuova briglia il passaggio avviene senza transizione attraverso lo stato critico, visto il modesto restringimento operato dai manufatti costituenti l'opera di presa. Come si può notare dalla figura sottostante il deflusso sulla gaveta della nuova briglia si mantiene di tipo rapido, anche se leggermente rallentato visto l'incremento di tirante che si verifica a seguito del restringimento di sezione. Il massimo livello raggiunto dalla piena centenaria in corrispondenza della sezione in cui è inserita la briglia è pari a 347,01 m s.l.m mentre sarà di 347,10 m s.l.m. per quella bicentenaria. Il sopralzo del livello liquido dell'ordine dei 0.50 m riscontrato tra lo stato di fatto e quello di progetto, per entrambi gli eventi estremi considerati, non è tale da compromettere la sicurezza idraulica del luogo visto che l'alveo scorre incassato fra due versanti aventi un'altezza di circa 10 m. A valle della traversa la corrente si presenta fortemente accelerata per via del salto di fondo provocato dalla nuova briglia, per riportarsi rapidamente, dopo circa 15 m, verso la condizione di moto uniforme e ripristinare le condizioni di deflusso dello stato di fatto.



Figura 14: Deflusso della portata con $Tr=100$ anni attraverso la nuova briglia – stato di progetto

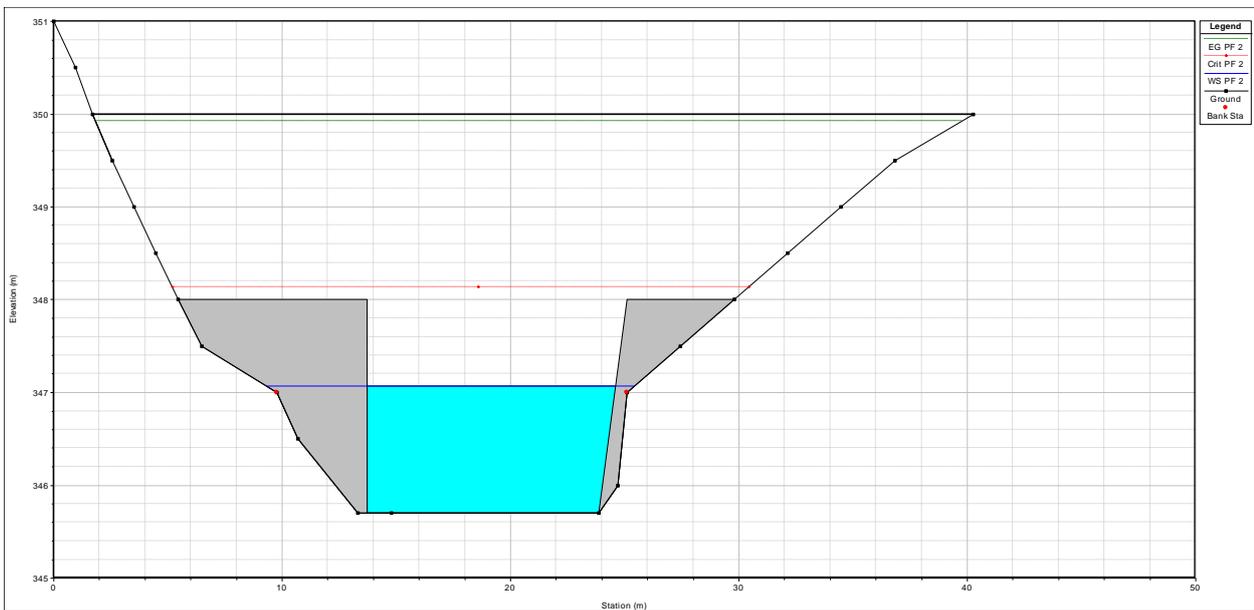


Figura 15: Deflusso della portata con $Tr=200$ anni attraverso la nuova briglia – stato di progetto

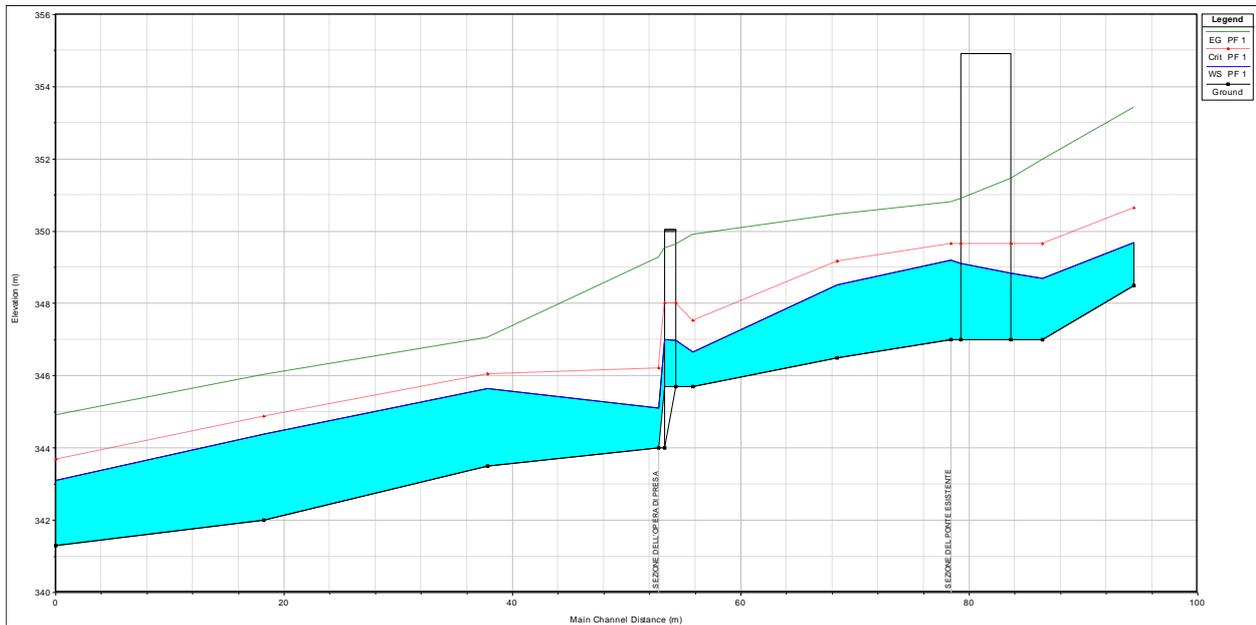


Figura 16: Profilo longitudinale della corrente per la portata $T_r=100$ anni – stato di progetto

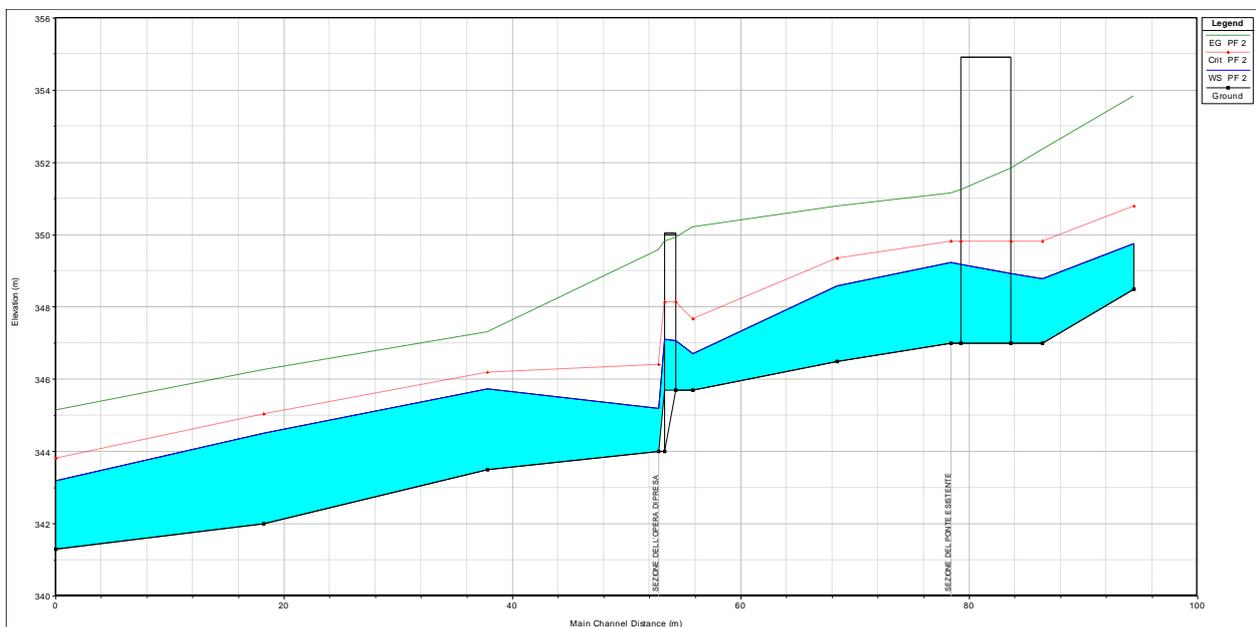


Figura 17: Profilo longitudinale della corrente per la portata $T_r=200$ anni – stato di progetto

	IMPIANTO IDRELETTRICO SUL TORRENTE ALBERONE <i>PROGETTO DEFINITIVO</i> <i>RELAZIONE IDRAULICA</i>	FILE:	152_PD_2.2_RH_00.docx
		Pag	41 di 44

6.2.2 Simulazione del tronco torrentizio sul quale insiste l'opera di restituzione

Il luogo in cui verrà realizzata la centrale di produzione ed il relativo manufatto di restituzione delle acque turbinate, si trova in adiacenza al torrente Alberone, in sinistra idraulica, nelle vicinanze del centro abitato di Savogna circa un centinaio di metri a monte del ponte sul medesimo torrente. In tale tratto il torrente scorre su di un alveo che si presenta caratterizzato da massi di varia pezzatura che danno vita ad un andamento plano-altimetrico vario del filone di magra, tuttavia l'alveo si presenta è ben delimitato da sponde rocciose. Le simulazioni eseguite hanno utilizzato il rilievo eseguito in loco per la definizione della geometria dell'alveo allo scopo di valutare, anche in questo caso, il livello idrometrico raggiunto in corrispondenza della sezione di restituzione delle acque turbinate durante il verificarsi dei due eventi estremi presi a riferimento ($Tr=100$ anni e $Tr=200$ anni). I due eventi estremi sono stati quantificati in $107,2 \text{ m}^3/\text{s}$ per la portata centenaria e in $120,2 \text{ m}^3/\text{s}$ per quella bicentenaria (vedi Elaborato 2.1 Relazione Idrologica).

Oltre alla geometria dell'alveo ricavata, come detto, dal rilievo eseguito, è stato inserito all'interno del codice di calcolo anche la presenza del ponte, in quanto presenta una pila in alveo e due muri di sponda quali spalle di sostegno.

Le simulazioni sono state eseguite utilizzando un valore del coefficiente di scabrezza di Manning pari a 0.05, analogo a quello impiegato per la simulazione del tratto interessato dall'opera di presa viste le forti analogie che presentano i due tratti di torrente.

Dalle simulazioni sono stati ricavati i due profili longitudinali sotto riportati che evidenziano come il ponte di fatto operando un restringimento dell'alveo influenzi il deflusso degli eventi di piena, tuttavia dato il carattere supercritico della corrente tale perturbazione non si propaga verso monte e dunque non altera i livelli idrometrici delle sezioni considerate. In particolare nella sezione in cui si prevede di recapitare le acque turbinate il deflusso avviene attraverso la condizione critica, con un livello idrometrico che si attesta alla quota di 218,62 m s.l.m. per la piena centenaria e alla quota di 218,75 m s.l.m. per quella bicentenaria (Figura 11). Come si può osservare nell'elaborato grafico relativo alla centrale di produzione la quota di sbocco del tubo di scarico delle acque è posta a 218,95 m s.l.m., tale dunque da non alterare il deflusso degli eventi estremi considerati e garantire il corretto funzionamento del manufatto e dunque di tutto l'impianto durante tali eventi, anche se occorre ricordare che tutto l'impianto verrà disattivato in tali occasioni. Si fa notare inoltre che il manufatto di sostegno della tubazione di scarico non altera in alcun modo il deflusso degli eventi di piena essendo collocato all'interno dell'attuale sponda.

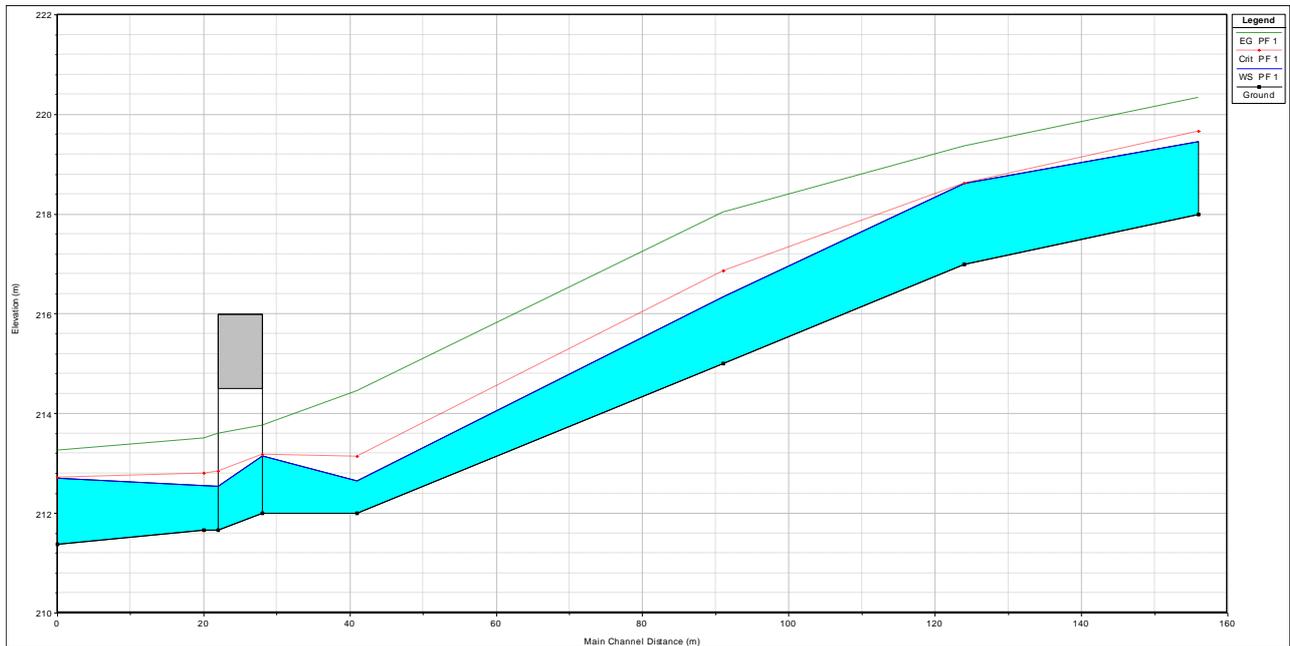


Figura 18: Profilo longitudinale della corrente per la portata $T_r=100$ anni – stato di progetto

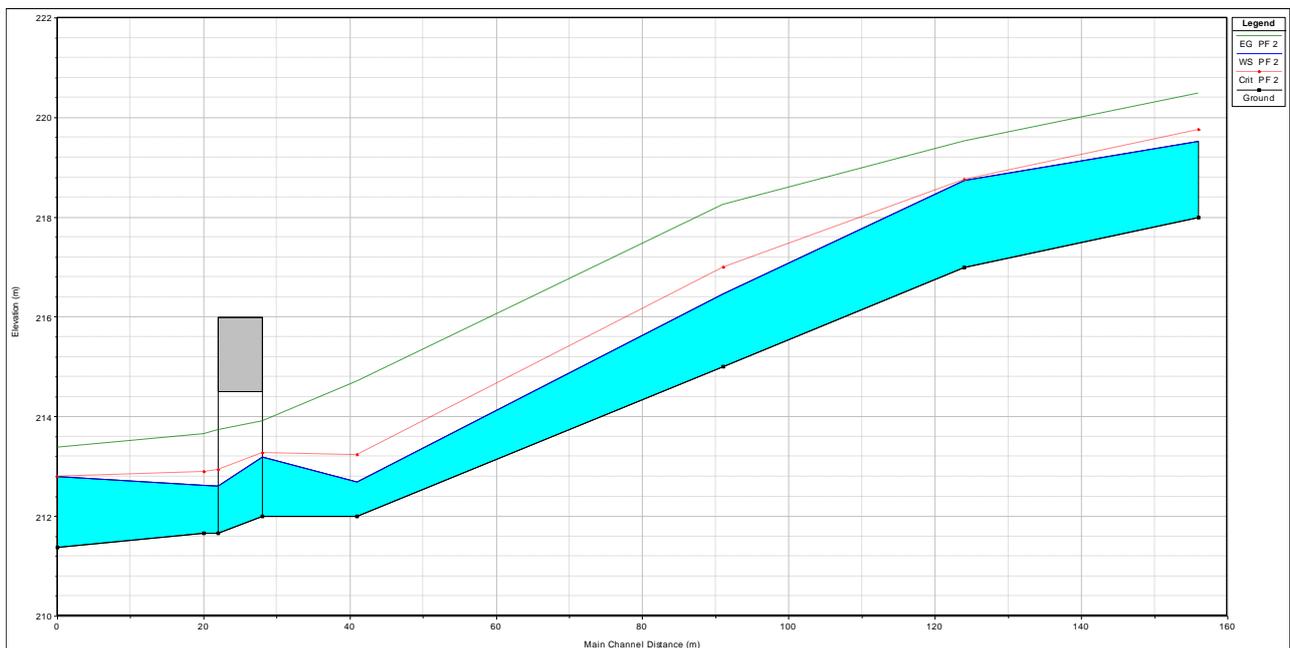


Figura 19: Profilo longitudinale della corrente per la portata $T_r=200$ anni – stato di progetto

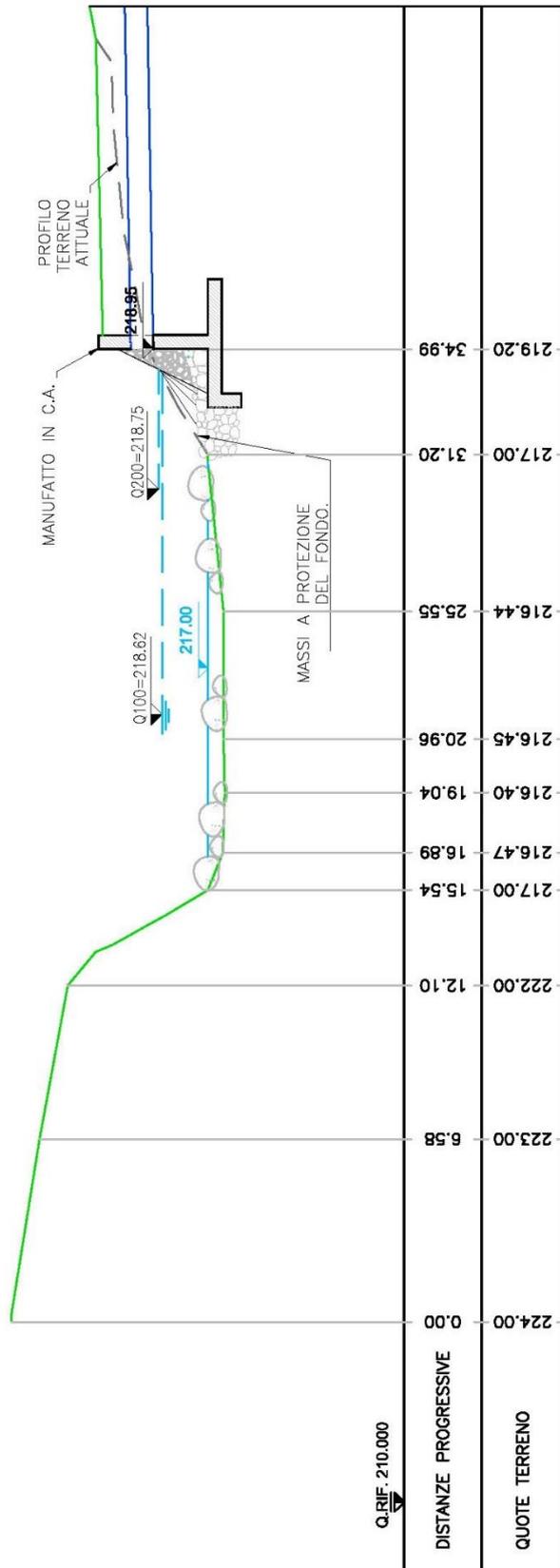


Figura 20 – Sezione Ovest-Est, restituzione a quota 218.95, $h_{Tr200} = 218.75m$, $h_{Tr100} = 218.62m$, alveo attuale circa quota 217.00 m

	IMPIANTO IDRELETTRICO SUL TORRENTE ALBERONE PROGETTO DEFINITIVO RELAZIONE IDRAULICA	FILE:	152_PD_2.2_RH_00.docx
		Pag	44 di 44

7 BIBLIOGRAFIA

- 1 Autorita' di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta, Bacchiglione (2006). Piano stralcio per la sicurezza idraulica del bacino del Piave - Venezia, Italia.
 - 2 Ferro V. (2002). La sistemazione dei bacini idrografici, Mc Graw-Hill, Italia.
 - 3 Tonini M., Pulselli U. (1968). Elaborazione dei dati idrologici di alcuni bacini veneti minori, dal Livenza all'Agno-Guà, l'Energia Elettrica - fascicolo n.2, Volume XLVIII, Italia.
 - 4 Arredi F. (1977) Costruzioni Idrauliche 4 - Le opere di regolazione e di derivazione, UTET, Torino.
 - 5 Da Deppo L., Datei C. (2000) Fognature, Edizioni Libreria Cortina, Padova, Italia.
 - 6 Da Deppo L., Datei C., Salandin P. (2004) Sistemazione dei corsi d'acqua, Edizioni Libreria Cortina, Padova, Italia.
 - 7 D'Alpaos (1998) Appunti delle lezioni d'idrodinamica, Università degli Studi di Padova, Italia.
 - 8 Datei C. (1983) Lezioni di Idraulica per la sezione elettrotecnica, Edizioni Libreria Cortina, Padova, Italia.
 - 9 Ghetti A. (1981) Idraulica, Edizioni Libreria Cortina, Padova, Italia.
 - 10 Idel'cik I.E. (1979) Memento des pertes de charge. Coefficients de pertes de charge singulières et de pertes de charge par frottement. Eyrolles, Parigi, Francia.
 - 11 Indri E. (1954) Indagine sulle opere di presa e sui dissabbiatori, Estratto da: Relazioni su ricerche e studi promossi dall'ANIDEL, Italia.
 - 12 S. Artina, G. Calenda, F. Calomino, G. La Loggia, C. Modica, A. Paoletti, S. Papiri, G. Rasulo, P. Veltri. (1997) Sistemi di fognatura. Manuale di progettazione. Hoepli, Milano, Italia.
 - 13 Scimemi E. (1964) Compendio di idraulica, CEDAM, Padova, Italia.
 - 14 Villi V., Bacchi B. (2001). Valutazione delle piene nel Triveneto, CNR, Padova, Italia.
-