



REGIONE LOMBARDIA

PROVINCIA DI BRESCIA

COMUNE DI CIVIDATE CAMUNO

**CONCESSIONE AL COMUNE DI CIVIDATE CAMUNO DI
DERIVAZIONE D'ACQUA DAL FIUME OGLIO in
territorio del comune di CIVIDATE CAMUNO (BS)
PER USO IDROELETTRICO****Disciplinare di concessione registrato con n.1553 del 02.07.2014 assentito con
Provvedimento di concessione della Provincia di Brescia n.3808 del 19.06.2014****RECUPERO DI ENERGIA PULITA DA FONTE RINNOVABILE MEDIANTE
L'UTILIZZAZIONE DELL'ESISTENTE DISLIVELLO SUL FIUME OGLIO****"IMPIANTO IDROELETTRICO
"REGINA - CIVIDATE CAMUNO"****OPERA DI PUBBLICA UTILITÀ**

- **LEGGI 29 maggio 1982 n°308 e 09 gennaio 1991 n°9 e 10**
Norme per il contenimento dei consumi energetici, lo sviluppo delle fonti rinnovabili di energia e l'esercizio di centrali elettriche
- **DECRETO LEGISLATIVO 29 dicembre 2003 n°387**
Attuazione della Direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità
- **LEGGE 01 giugno 2002, n°120 in vigore dal 16 febbraio 2005**
Ratifica ed esecuzione del Protocollo di Kyoto alla Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, fatto a Kyoto l'11 dicembre 1997

TITOLO TAVOLA:

L.R. 8/98

Relazione generale

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Approvato
0	Dicembre 2014	Emissione	Gruppo di lavoro	Salvetti/Graneroli
1	Maggio 2015	Integrazioni	Gruppo di lavoro	Salvetti/Graneroli
2	Ottobre 2017	Variante	Gruppo di lavoro	Salvetti/Graneroli
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—

COMMITTENTE:

Comune di Civate Camuno

Piazza Fiamme Verdi, 12 info@comune.civate-camuno.bs.it
25040 CIVIDATE CAMUNO (BS) Tel. 0364/340383
C.F. 00895540177 Fax. 0364/347824
P.Iva 00586120982

CONSULENZA GEOLOGICA:

Dott. Geol. Bizioli Matteo

Via Predore, 61
24067 - SARNICO (BG)

PROGETTAZIONE:



PRIMA EMISSIONE

Dicembre 2014

AGGIORNAMENTO

Ottobre 2017

SCALA

-

N. TAVOLA

L.01**REV.2**

Salvetti_Graneroli
studio di ingegneria engineers associated

Lungo Mallero Cadorna n.49 - 23100 Sondrio (SO)
Tel.: 0342/211625 - Fax.: 0342/519070
info@studiosalvettingraneroli.com
studiosalvettingraneroli@pec.it
www.studiosalvetti.com

INDICE GENERALE

1. PREMESSA	3
2. ASPETTI TECNICI-ECONOMICI	5
3. VERIFICA DI STABILITA'	8
3.1 DATI DI INPUT	8
3.1.1 PREMESSE AL CALCOLO.....	8
3.1.2 CARICHI APPLICATI	9
3.1.3 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO.....	9
3.1.4 GEOMETRIA DELLA STRUTTURA	10
3.1.5 CALCOLI DI VERIFICA	11
3.2 VERIFICA IN CONDIZIONI DI ESERCIZIO	12
3.2.1 VERIFICA STABILITA' ALLO SCORRIMENTO	12
3.2.2 VERIFICA STABILITA' AL RIBALTAMENTO	13
3.2.3 VERIFICA STABILITA' ALLO SCHIACCIAMENTO	15
3.3 VERIFICA IN CONDIZIONI DI PIENA	17
3.3.1 VERIFICA STABILITA' ALLO SCORRIMENTO	17
3.3.2 VERIFICA STABILITA' AL RIBALTAMENTO	18
3.3.3 VERIFICA STABILITA' ALLO SCHIACCIAMENTO	20
3.4 VERIFICA SOLLECITAZIONI SISMICHE IN ESERCIZIO	22
3.4.1 VERIFICA STABILITA' ALLO SCORRIMENTO	24
3.4.1 VERIFICA STABILITA' AL RIBALTAMENTO	26
3.4.1 VERIFICA STABILITA' ALLO SCHIACCIAMENTO	27
3.5 RISULTATI VERIFICHE.....	29
4. ASPETTI GEOLOGICI GEOTECNICI	30
5. ASPETTI IDROLOGICI	30
6. ASPETTI IDRAULICI	31

6.1	SCHEMI E CALCOLI IDRAULICI PORTATA MASSIMA DERIVABILE	31
6.2	SCHEMI E CALCOLI IDRAULICI REGOLAZIONE LIVELLO DI MONTE.....	31
6.2.1	<i>SIMULAZIONE CON PORTATA DI PIENA Tr 200</i>	<i>33</i>
6.2.2	<i>SIMULAZIONE CON PORTATA DI PIENA Tr 2</i>	<i>34</i>
6.2.3	<i>SIMULAZIONE CON PORTATA MASSIMA MENSILE</i>	<i>35</i>
6.2.4	<i>SIMULAZIONE CON PORTATA MEDIA ANNUA NON ANTROPIZZATA</i>	<i>36</i>
6.2.5	<i>PROFILI IDRAULICI A MONTE E A VALLE DELLO SBARRAMENTO IN CONDIZIONI DI PIENA DI PROGETTO.....</i>	<i>37</i>
6.2.6	<i>VOLUME D'INVASO A MONTE DELLA TRAVERSA COMPRESO TRA I PROFILI DI RIGUIRGITO NATURALE E DI PROGETTO</i>	<i>38</i>
6.2.7	<i>VERIFICA AREE DI DEFLUSSO IN CORRISPONDENZA DEGLI INSEDIAMENTI A VALLE DELLO SBARRAMENTO</i>	<i>39</i>
6.3	SCHEMI E CALCOLI IDRAULICI OPERE DI SGHIAIAMENTO	39
6.4	SCHEMI E CALCOLI IDRAULICI MOTI DI INFILTRAZIONE	39
6.5	SCHEMI E CALCOLI IDRAULICI SCALA DI RIMONTA.....	41
6.6	INDICAZIONI SULLA MOVIMENTAZIONE E REGOLAZIONE AUTOMATICA DELLE PARATOIE	44

1. PREMESSA

La presente relazione è redatta con lo scopo di motivare le scelte operate, nella realizzazione della traversa fluviale sul fiume Oglio, in considerazione degli elementi di rischio idrologico, idrogeologico ed idraulico presenti e/o indotti dall'intervento. La traversa fluviale in oggetto verrà realizzata nell'ambito di realizzazione dell'impianto idroelettrico ad acqua fluente, denominato "Regina", da realizzarsi lungo l'asta del fiume Oglio in territorio del comune di Civate Camuno (BS). La concessione di derivazione è stata assentita dalla Provincia di Brescia, alla società Ecqua S.r.l. con sede in Darfio Boario Terme (BS), Via Manifattura n. 29/G (P. Iva. 03610990982), con Decreto Dirigenziale n° 3808 del 24 giugno 2014. Tra le prescrizioni contenute nel disciplinare di concessione del 02 luglio 2014, all'art. 6 comma d), la Regione Lombardia – Sede Territoriale di Brescia ha richiesto la predisposizione della documentazione prevista all'art.4 della L.R. 8/98 - Norme in materia di costruzione, esercizio e vigilanza degli sbarramenti di ritenuta e dei bacini di accumulo di competenza regionale.

A tal proposito si comunica, che in data 22 settembre 2014, è stata presentata, dalla società concessionaria, istanza di non assoggettamento dello sbarramento in progetto, alle norme della L.R. 8/98, alla quale però la Regione Lombardia ha risposto con esito negativo.

Tutto ciò premesso qui di seguito vengono analizzati gli aspetti principali relativi alla realizzazione della traversa.

Nel caso di realizzazione di traversa fluviale è prevista, dalla L.R. 8/98 la predisposizione della documentazione ridotta indicata al paragrafo 7.2 delle direttive per l'applicazione della legge, ulteriormente integrate con le prescrizioni contenute al paragrafo 7.3 delle stesse direttive.

Il progetto è stato aggiornato a seguito del sopralluogo congiunto effettuato con l'ufficio Vincoli Ambientali e Pianificazione della Provincia di Brescia e con la Soprintendenza per i Beni Architettonici e Paesaggistici. Le principali modifiche riguardano soprattutto lo stile architettonico degli elementi caratteristici dell'impianto e la modifica della scala di risalita dell'ittiofauna che è stata spostata in sponda destra e verso monte in modo tale da risultare il meno impattante possibile. È stato inoltre modificato il numero di paratoie mobili costituenti lo sbarramento che passano da due a tre. Tale variazione deriva dalla necessità di garantire un deflusso tale da mantenere bagnato il piede della traversa; le tre paratoie permettono di far defluire tale rilascio in posizione centrale rispetto

all'alveo adottando una paratoia intermedia con una altezza di ritenuta minore rispetto alle due laterali. Tale modifica non comporta tuttavia alcuna modifica in termini di livello di regolazione e funzionamento idraulico e nemmeno in termini di volume invasato a monte della traversa.

Con Atto Dirigenziale n.1814 del 16/06/2017 la Provincia di Brescia ha disposto di volturare al Comune di CIVIDATE CAMUNO la concessione assentita alla Ditta EQUA S.r.l. con provvedimento della Provincia di Brescia n°3808 del 19/06/2014 e l'Autorizzazione Unica n.7854 del 12/11/2015 alla costruzione ed all'esercizio dell'impianto idroelettrico denominato Regina.

Si precisa che in data 14/09/2017 è stata presentata una variante al progetto approvato e pertanto la presente relazione viene aggiornata sulla base delle nuove caratteristiche dimensionali delle opere di interesse.

In particolare, ai fini della l.r. 8/98, si evidenzia una modifica nella geometria della traversa che conserva però le caratteristiche di livello di regolazione, volume di invaso e sviluppo longitudinale della stessa. Di seguito si riporta una sezione di raffronto tra il progetto approvato (in azzurro) e il progetto in variante (in rosso).

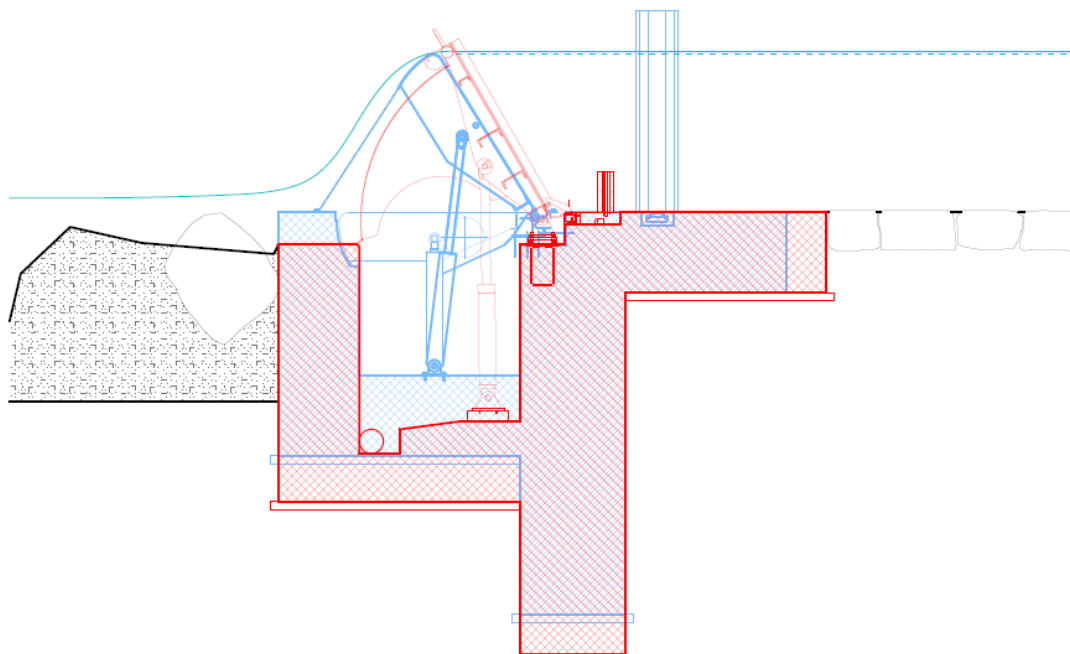


Figura 1. Raffronto traversa di derivazione (rosso variante – azzurro autorizzato)

Tutto ciò premesso qui di seguito vengono analizzati gli aspetti principali relativi alla realizzazione della traversa.

2. ASPETTI TECNICI-ECONOMICI

Nell'ambito di realizzazione dell'impianto idroelettrico, è prevista la realizzazione di una traversa fluviale abbattibile necessaria al convogliamento delle acque al canale di adduzione dell'impianto.

Tale opera verrà realizzata mediante l'impiego di paratoie a ventola a funzionamento oleodinamico e completamente abbattibili in situazioni di emergenza. La realizzazione dello sbarramento mobile avverrà senza intervenire sulla traversa esistente, ma realizzando a monte di essa una platea in cls, e un cunicolo inferiore entro cui verranno posizionati i cilindri oleodinamici necessari alla movimentazione della paratoia soprastante.

Lo sbarramento sarà composto da tre paratoie, per una lunghezza complessiva di 26,70 m. Tali opere verranno ancorate in corrispondenza della nuova traversa. La paratoia posta in posizione centrale, con le medesime caratteristiche delle due laterali, verrà mantenuta con un petto di sfioro a quota inferiore (indicativamente 5 cm più bassa) rispetto alle paratoie poste lateralmente. Tale effetto verrà ottenuto impostando un grado di chiusura maggiore della paratoia così come definito a seguito delle indicazioni dell'Ufficio Vincoli della Prov. di Brescia e della Soprintendenza.

Le caratteristiche tecniche di ciascuna paratoia sono:

- Larghezza luce netta di ogni paratoia 8,90 m
- Altezza massima di ritenuta 2,10 m
- Inclinazione in posizione di chiusura 60 gradi
- Carico idrostatico massimo (assunto per progetto) 2,60 m
- Tenute su 3 lati da monte verso valle;
- Scudo realizzato con lamiera e rinforzi saldati in acciaio S 355 JR ;
- Gargame di controtenuta laterale, costituito da lamiere in acciaio inox AISI 304, fissate alle opere murarie tramite tasselli e zanche, di dimensioni adeguate a garantire la contro-tenuta in tutte le posizioni di abbattimento della ventola;
- Cerniere di rotazione sulla soglia con boccola in materiale auto-lubrificante;
- Ruote antingallonamento laterali per contenere i giochi laterali della paratoia.

Come già anticipato, la movimentazione di ogni paratoia sarà affidata a 2 cilindri oleodinamici, posizionati sulla fondazione in cls in progetto, al di sotto della soglia di rotazione delle paratoie ed aventi le seguenti caratteristiche:

- Pressione max. del cilindro 200 Bar

- Pressione di prova cilindro 300 Bar
- Cilindro in tubo d'acciaio Fe 52.1 con flange d'estremità in Fe 510, boccola di mandata olio, occhio sul fondello inferiore con snodo sferico autocentrante in Fe 510
- Asta di manovra in acciaio C40 bonificato, con tratto destinato alla corsa cromato (sp. 50 micron); estremità inferiore filettata per unione allo stantuffo ed estremità superiore filettata per unione alla forcella di collegamento paratoia
- Stantuffo in acciaio C40 con guarnizione di tenuta e fasce di usura-guida in resina acetica a bassissimo attrito.

Il sistema di controllo della posizione della paratoia verrà realizzato con n°2 sensori angolari da posizionare sullo scudo, dotati di finecorsa tarabili per le posizioni estreme (Aperto-Chiuso). I due sensori oltre ad indicare la posizione angolare della paratoia verranno utilizzati per la sincronizzazione dei due cilindri oleodinamici in modo da poter correggere, mediante il circuito elettroidraulico, l'eventuale sbandamento fra le paratoie.

I sensori saranno inoltre dotati di apposite protezioni per garantire una perfetta tenuta anche in caso di completa immersione per lunghi tempi.

Sul circuito di comando dei cilindri verrà inserito un sistema elettrico a galleggiante installato all'interno di una tubazione di calma a una quota predefinita (irraggiungibile durante l'esercizio normale), questo galleggiante qualora venisse interessato dal livello in bacino invia un impulso elettrico che sorpassa la logica di governo impostata sul PLC agendo direttamente sulle elettrovalvole di controllo discesa delle ventole posizionandola a completo abbattimento.

In caso di completo abbattimento della paratoia, la sezione idraulica di deflusso risulterà essere quella presente allo stato attuale.

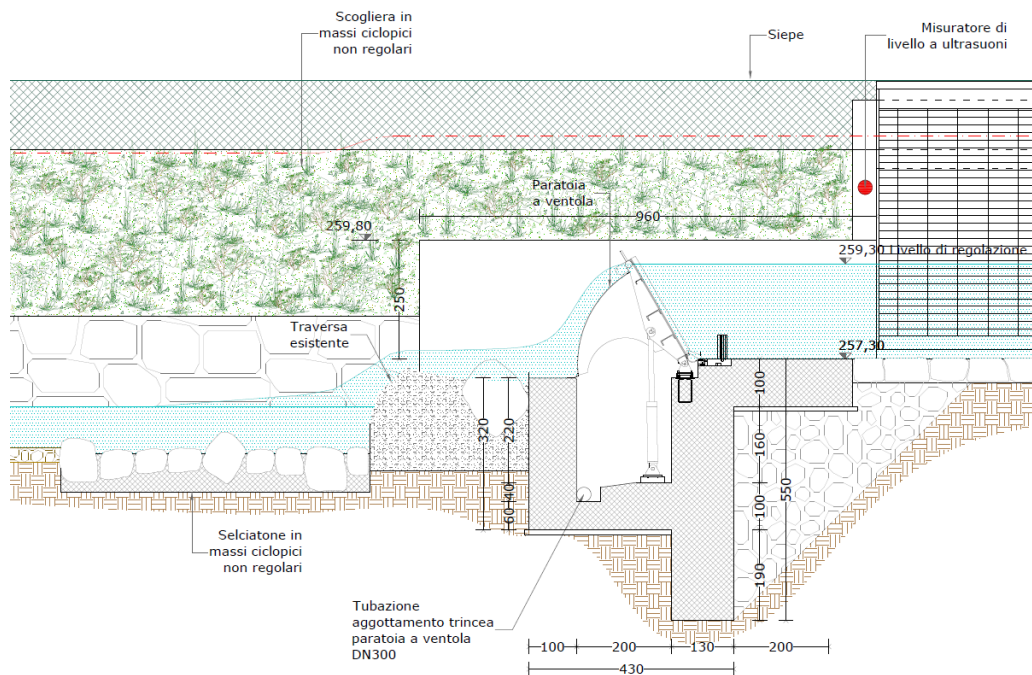


Figura 2 – Sezione nuova traversa in progetto

Per necessità idrauliche riferite alla capacità dell’impianto di poter derivare le portate chieste in concessione e per ottimizzare la produzione di energia elettrica si prevede di elevare l’attuale pelo medio dell’acqua a monte dello sbarramento di circa 2 m. Tale livello viene mantenuto in caso di funzionamento in normale regime idrologico del fiume; nelle situazioni di piena si procederà all’abbattimento dello sbarramento, in modo da ristabilire la sezione idraulica esistente.

Confrontando i profili di moto permanente nella configurazione di progetto e in quella di stato di fatto, si può notare come la presenza dell’impianto induca variazioni ridotte dei livelli idrici al passaggio della piena duecentennale. Anche considerando l’impossibilità di abbassamento della paratoia a ventola a causa di avarie nel sistema di controllo, al passaggio dell’onda di piena, i risultati ottenuti non differiscono sostanzialmente dalla situazione di stato di progetto con paratoia abbassata, il tutto come meglio evidenziato nello studio idraulico a cura dello studio Taccolini associati.

Tutto ciò è dettato dal fatto che, in condizioni di piena, la variazione della sezione di passaggio del flusso idrico indotta dalla presenza della traversa risulta essere minima.

Si precisa inoltre che la paratoia a ventola è fornita di sistema di sganciamento e apertura autonoma, anche in caso di avaria del sistema di controllo.

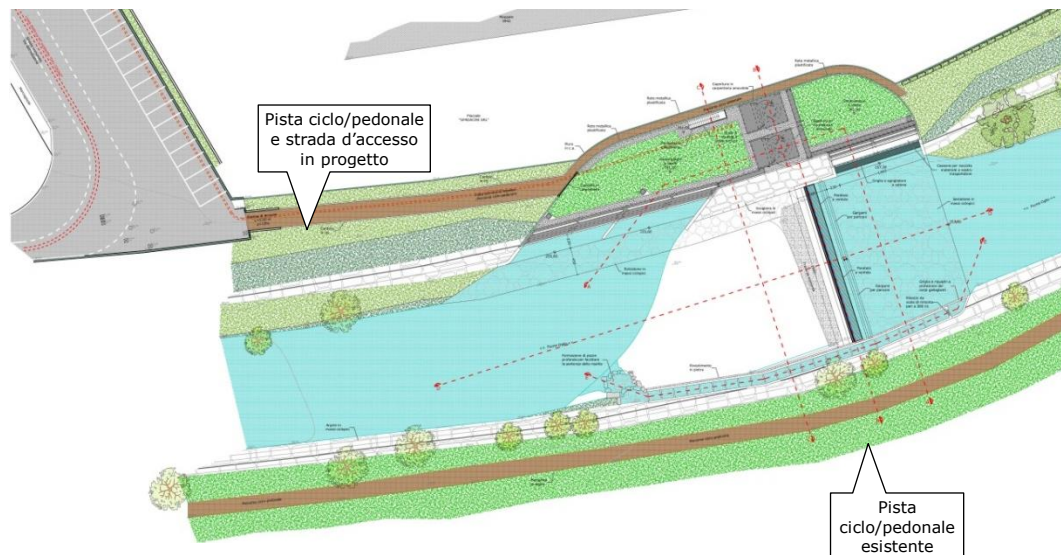


Figura 3 -Individuazione viabilità d'accesso su planimetria di progetto

Per quanto riguarda le modalità di esecuzione dell'opera e le cautele da eseguire in fase di costruzione (con riferimento ai contenuti dell'art. 6, D.P.R. 1363/59), si precisa che l'opera in fase di costruzione ed esercizio sarà accessibile da entrambe le sponde, sfruttando l'esistente viabilità costituita dalla pista ciclabile/arginale posta in sinistra idrografica e sfruttando il nuovo tratto di pista ciclabile/strada d'accesso prevista in destra orografica.

3. VERIFICA DI STABILITA'

3.1 DATI DI INPUT

A seguito della progettazione esecutiva delle opere elettromeccaniche (paratoie) la geometria delle opere in c.a. della traversa, indicata nel progetto di variante, risulta essere lievemente differente rispetto a quanto indicato nel progetto autorizzato. Le modifiche, seppur minime, hanno richiesto l'aggiornamento delle seguenti verifiche di stabilità dell'opera.

3.1.1 PREMESSE AL CALCOLO

Il calcolo viene effettuato considerando due condizioni operative:

- normali condizioni di esercizio, ovvero pelo dell'acqua a monte della traversa pari alla quota di massima regolazione di 259,30 m s.l.m. e livello dell'acqua a valle dello sbarramento a quota +256,20 m s.l.m.
- condizioni di piena duecentennale, in cui i livelli idrici considerati sono quelli ottenuti attraverso l'apposita modellazione idraulica effettuata per valutare la compatibilità delle opere in oggetto e riportata nella relazione idraulica

allegata al progetto definitivo. Quota massima a monte pari a 261,99 m s.l.m. e quota a valle pari a 261,63 m s.l.m.

3.1.2 CARICHI APPLICATI

I carichi applicati per effettuare le analisi statiche sono:

- Peso proprio della struttura, valutato in 2500 daN/m^3 (P1-P2-P3-P4).
- Carico su paratoia ($F_{1\text{Oriz.}} - F_{1\text{Vert.}}$).
- Peso dell'acqua sopra la struttura (F2-F3-F10 e F11 in piena).
- Spinta dell'acqua presente a monte dello sbarramento (F4-F5).
- Spinta dell'acqua presente a valle dello sbarramento (F6-F7-F8-F9).
- Spinta del terreno a monte dello sbarramento (T1-T2).
- Spinta del terreno a valle dello sbarramento (T3-T4-T5-T6).
- Sottospinte idrauliche in funzione della quota del pelo d'acqua a monte e a valle, variabili linearmente da monte a valle (S1-S2-S3-S4-S5).

Vengono inoltre considerate, per la sola condizione di esercizio, le sollecitazioni sismiche caratteristiche dell'area di interesse.

3.1.3 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO

Lo sbarramento di presa verrà realizzato su depositi alluvionali aventi le seguenti caratteristiche geomeccaniche, come riportato nell'allegato documento di indagine geotecnica e sismica (Integrazione Relazione Geologica).

Le caratteristiche rappresentative del terreno sono state assunte pari a:

- Peso specifico del terreno $\gamma_{\text{terreno}} = 2160 \text{ daN/m}^3$;
- Peso specifico del terreno saturo $\gamma_{\text{terreno sat}} = 2500 \text{ daN/m}^3$;
- Angolo di attrito interno: 32° ;
- Coesione: 0 daN/cm^2 ;
- Classificazione sismica del terreno secondo la normativa (modifiche del D.M. 14/09/2005 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/08, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n°29 del 04/02/2008): B- Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori di qualche decina di metri, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $\text{NSPT}_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $\text{cu}_{30} > 250 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fine).

3.1.4 GEOMETRIA DELLA STRUTTURA

Ai fini dei calcoli la geometria della struttura è quella riportata di seguito:

ESERCIZIO

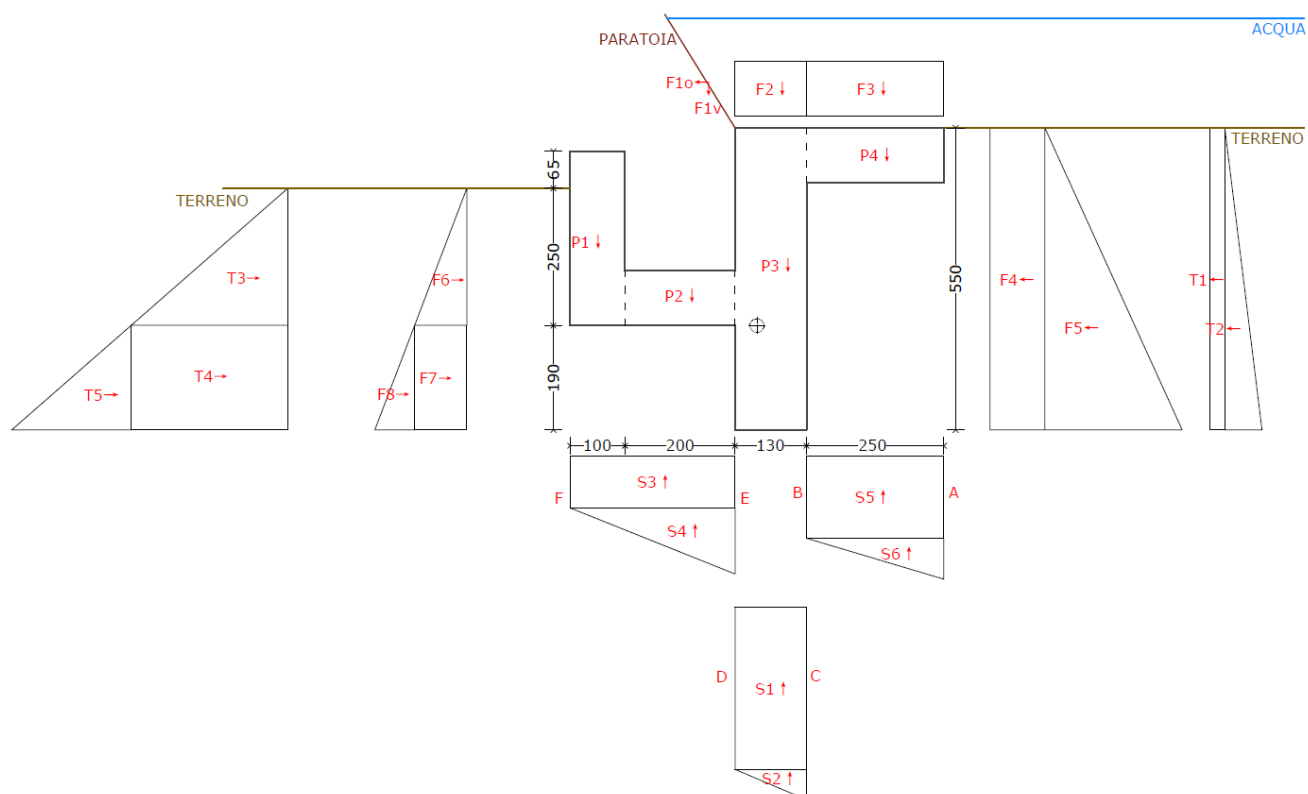


Figura 4 – Schema struttura e carichi applicati in condizioni di esercizio.

PIENA

ACQUA

ACQUA

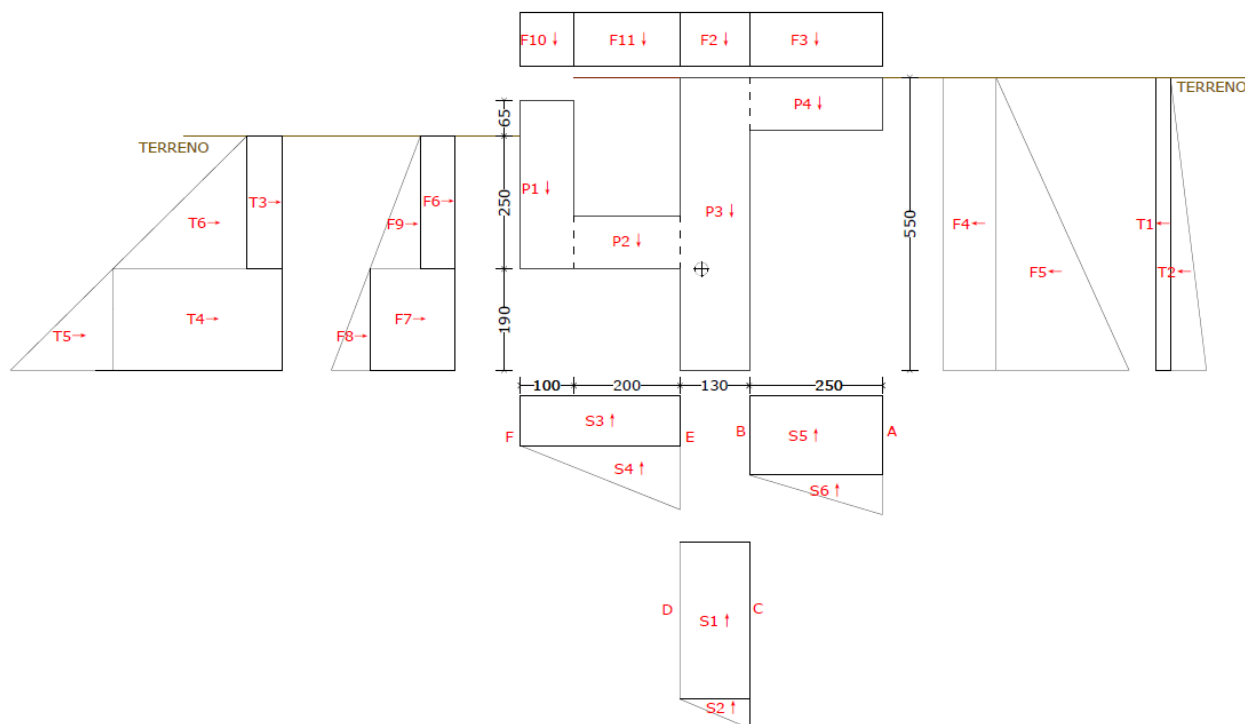


Figura 5 – Schema struttura e carichi applicati in condizioni di piena.

3.1.5 CALCOLI DI VERIFICA

Le verifiche statiche condotte sono:

- verifica di stabilità a scorrimento;
- verifica di stabilità al ribaltamento attorno al punto O;
- verifica allo schiacciamento del terreno di fondazione.

I fattori di sicurezza assunti sono in condizione di esercizio sono:

- fattore di sicurezza allo scorrimento: 1,3
- fattore di sicurezza al ribaltamento: 1,5
- $\sigma_{\text{ammissibile}}$ del terreno: 2 daN/cm²

I fattori di sicurezza assunti sono in condizione di piena sono:

- fattore di sicurezza allo scorrimento: 1,3
- fattore di sicurezza al ribaltamento: 1,3
- $\sigma_{\text{ammissibile}}$ del terreno: 2 daN/cm²

3.2 VERIFICA IN CONDIZIONI DI ESERCIZIO

3.2.1 VERIFICA STABILITA' ALLO SCORRIMENTO

Caratteristiche terreno			
Angolo attrito interno	32	0.56	
Coeff. Spinta attiva	0.31		
Coeff. spinta passiva	3.25		
Coeff. spinta a riposo	0.47		

Verifica allo scorrimento orizzontale				
P1	8000	[daN]		
P2	5000	[daN]		
P3	17875	[daN]		
P4	6250	[daN]		
Angolo inclin. paratoia	58.5	1.021018		
F1	2340	F1 ORZZ	1223	[daN]
		FI VERT	1995	[daN]
F2	2600	[daN]		
F3	5000	[daN]		
F4	11000	[daN]		
F5	15125	[daN]		
T1	3380	[daN]		
T2	6971	[daN]		
T3	15256	[daN]		
T4	23189	[daN]		
T5	8812	[daN]		
F6	3125	[daN]		
F7	4750	[daN]		
F8	1805	[daN]		
SOTTOSPINTA A	2814	[daN/mq]		
SOTTOSPINTA B	2350	[daN/mq]		
SOTTOSPINTA C	5715	[daN/mq]		
SOTTOSPINTA D	5474	[daN/mq]		
SOTTOSPINTA E	3521	[daN/mq]		
SOTTOSPINTA F	2964	[daN/mq]		
LUNGHEZZA	16.7	[m]		
DELTA H	0.186	[m/m]		

S1	7116	[daN]
S2	157	[daN]
S3	8892	[daN]
S4	1671	[daN]
S5	5876	[daN]
S6	1160	[daN]

Forze agenti:

- Sommatoria delle forze verticali verso il basso: $F_{\text{vert. basso}} = 46720 \text{ daN}$
- Sommatoria delle forze verticali verso l'alto: $F_{\text{vert. alto}} = 24871 \text{ daN}$
- Differenza tra forze verticali:
 $F_{\text{vert.}} = (46720 - 24871) \text{ daN} = 21849 \text{ daN}$
- Sommatoria delle forze orizzontali verso monte: $F_{\text{orizz. monte}} = 56937 \text{ daN}$
- Sommatoria delle forze orizzontali verso valle: $F_{\text{orizz. valle}} = 37698 \text{ daN}$
- Coefficiente attrito del terreno:
 $\Theta = \tan(32^\circ) = 0.625$

Fattore di sicurezza:

$$F_s = \frac{56937 \text{ daN} + (21849 \text{ daN} \times 0.625)}{37698} = 1.87 > 1.3$$

3.2.2 VERIFICA STABILITA' AL RIBALTAMENTO

Si esegue la verifica a ribaltamento attorno al punto O della struttura, coincidente con il vertice a valle della briglia.

Caratteristiche terreno		
Angolo attrito interno	32	0.56
Coeff. Spinta attiva	0.31	
Coeff. spinta passiva	3.25	
Coeff. spinta a riposo	0.47	

Verifica a ribaltamento (O)					
				Bracci	
P1	8000	[daN]		0.5	[m]
P2	5000	[daN]		2	[m]
P3	17875	[daN]		3.65	[m]
P4	6250	[daN]		5.55	[m]
Angolo inclin. paratoia	58.5	1.021018			
F1	2340	F1 ORZZ	1223	4.3	[m]

		FI _{VERT}	1995	2.6	[m]
F2	2600	[daN]		3.65	[m]
F3	11750	[daN]		5.55	[m]
F4	11000	[daN]		0.85	[m]
F5	15125	[daN]		0.05	[m]
T1	3380	[daN]		0.85	[m]
T2	6971	[daN]		0.05	[m]
					[m]
T3	2204	[daN]		1.25	[m]
T4	2189	[daN]		0.95	[m]
T5	832	[daN]		1.25	[m]
F6	3125	[daN]		1.25	[m]
F7	4750	[daN]		0.95	[m]
F8	1805	[daN]		1.25	[m]
SOTTOSPINTA A	2814	[daN/mq]			
SOTTOSPINTA B	2350	[daN/mq]			
SOTTOSPINTA C	5715	[daN/mq]			
SOTTOSPINTA D	5474	[daN/mq]			
SOTTOSPINTA E	3521	[daN/mq]			
SOTTOSPINTA F	2964	[daN/mq]			
LUNGHEZZA	16.7	[m]			
DELTA H	0.186	[m/m]			
S1	7116	[daN]		3.65	[m]
S2	157	[daN]		3.85	[m]
S3	8892	[daN]		1.5	[m]
S4	1671	[daN]		2	[m]
S5	4701	[daN]		5.55	[m]
S6	928	[daN]		5.95	[m]

Momenti agenti:

- Momento stabilizzante ottenuto dal prodotto delle forze stabilizzanti per il relativo braccio: $M_{\text{stabilizzante}} = 201587 \text{ daNm}$
- Momento ribaltante ottenuto dal prodotto delle forze ribaltanti per il relativo braccio: $M_{\text{ribaltante}} = 102235 \text{ daNm}$

Fattore di sicurezza:

$$F_s = \frac{201587 \text{ daNm}}{102235 \text{ daNm}} = 1.97 > 1.5$$

3.2.3 VERIFICA STABILITA' ALLO SCHIACCIAMENTO

Si esegue la verifica a schiacciamento determinando le sollecitazioni agenti in corrispondenza del baricentro della fondazione (G).

Caratteristiche terreno

Angolo attrito interno	32	0.56
Coeff. Spinta attiva	0.31	
Coeff. spinta passiva	3.25	
Coeff. spinta a riposo	0.47	

Verifica a schiacciamento (G)

			Bracci	
P1	8000	[daN]	2.9	[m]
P2	5000	[daN]	1.4	[m]
P3	17875	[daN]	0.25	[m]
P4	6250	[daN]	2.15	[m]
Angolo paratoia	58.5	1.021018		
F1	2340	F1 _{ORZZ}	1223	4.3 [m]
		F1 _{VERT}	1995	0.65 [m]
F2	2600	[daN]	0.25	[m]
F3	11750	[daN]	2.15	[m]
F4	11000	[daN]	0.85	[m]
F5	15125	[daN]	0.05	[m]
T1	3380	[daN]	0.85	[m]
T2	6971	[daN]	0.05	[m]
				[m]
T3	2204	[daN]	1.25	[m]
T4	3349	[daN]	0.95	[m]
T5	1273	[daN]	1.25	[m]
F6	3125	[daN]	1.25	[m]
F7	3500	[daN]	0.95	[m]
F8	1805	[daN]	1.25	[m]
SOTTOSPINTA A	2814	[daN/mq]		
SOTTOSPINTA B	2350	[daN/mq]		
SOTTOSPINTA C	5715	[daN/mq]		
SOTTOSPINTA D	5474	[daN/mq]		
SOTTOSPINTA E	3521	[daN/mq]		
SOTTOSPINTA F	2964	[daN/mq]		
LUNGHEZZA	16.7	[m]		
DELTA H	0.186	[m/m]		

S1	7116	[daN]	0.25	[m]
S2	157	[daN]	0.60	[m]
S3	8892	[daN]	1.9	[m]
S4	1671	[daN]	1.15	[m]
S5	4701	[daN]	2.15	[m]
S6	928	[daN]	2.55	[m]

Azioni agenti:

- Momento stabilizzante ottenuto dal prodotto delle forze per il relativo braccio:
 $M_{\text{stabilizzante}} = 69296 \text{ daNm}$
- Momento ribaltante ottenuto dal prodotto delle forze per il relativo braccio:
 $M_{\text{ribaltante}} = 74782 \text{ daNm}$
- Sommatoria delle forze verso il basso:
 $F_{\text{vert. basso}} = 53470 \text{ daN}$
- Sommatoria delle forze verso l'alto:
 $F_{\text{vert. alto}} = 23464 \text{ daN}$

Determinazione dell'eccentricità presente in fondazione:

$$e = \frac{M}{N} = \frac{(74782 - 69296) \text{ daNm}}{(53470 - 23464) \text{ daN}} = \frac{(5486) \text{ daNm}}{(30006) \text{ daN}} = 0.18 \text{ m} = 18 \text{ cm.}$$

Altezza sezione pari a 680 cm.

Limite nocciolo $= (680/6) = 113 \text{ cm}$

Si ottiene che il centro di pressione è all'interno del nocciolo, la sezione reagente perciò è tutta compressa.

Determinazione degli sforzi agenti sul terreno:

- Azione assiale $N = 30006 \text{ daN}$
- Area sezione $A = (100 \times 680) \text{ cmq} = 68000 \text{ cmq}$.
- Momento agente $M = 548600 \text{ daNcm}$
- Modulo resistenza $W = (1/6) \times 100 \times 680 \times 680 \text{ cmc} = 7706667 \text{ cmc}$

Sforzo minimo agente:

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{N}{A} - \frac{M}{W} = 0.44 - 0.07 \frac{\text{daN}}{\text{cmq}} = 0.37 \frac{\text{daN}}{\text{cmq}} < 2 \frac{\text{daN}}{\text{cmq}}$$

Sforzo massimo agente:

$$\sigma_{max} = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = 0.44 + 0.07 \frac{daN}{cmq} = 0.51 \frac{daN}{cmq} < 2 \frac{daN}{cmq}$$

3.3 VERIFICA IN CONDIZIONI DI PIENA

3.3.1 VERIFICA STABILITA' ALLO SCORRIMENTO

Caratteristiche terreno		
Angolo attrito interno	32	0.56
Coeff. Spinta attiva	0.31	
Coeff. spinta passiva	3.25	
Coeff. spinta a riposo	0.47	

Verifica allo scorrimento orizzontale			
P1	8000	[daN]	
P2	5000	[daN]	
P3	17875	[daN]	
P4	6250	[daN]	
Angolo paratoia	0	0	
F1	0	F1 ORZZ	0
		FI VERT	0
F2	6110	[daN]	
F3	11750	[daN]	
F4	25850	[daN]	
F5	15125	[daN]	
T1	7509	[daN]	
T2	6231	[daN]	
T3	44344	[daN]	
T4	56890	[daN]	
T5	8812	[daN]	
T6	15256	[daN]	
F6	13625	[daN]	
F7	15105	[daN]	
F8	1805	[daN]	
F9	3125	[daN]	
F10	4750	[daN]	
F11	9400	[daN]	
SOTTOSPINTA A	5679	[daN/mq]	
SOTTOSPINTA B	5627	[daN/mq]	

SOTTOSPINTA C	9532	[daN/mq]
SOTTOSPINTA D	9505	[daN/mq]
SOTTOSPINTA E	8065	[daN/mq]
SOTTOSPINTA F	8002	[daN/mq]
LUNGHEZZA	16.7	[m]
DELTA H	0.021	[m/m]
S1	12357	[daN]
S2	18	[daN]
S3	24007	[daN]
S4	189	[daN]
S5	11253	[daN]
S6	105	[daN]

Forze agenti:

- Sommatoria delle forze verticali verso il basso: $F_{\text{vert. basso}} = 69135 \text{ daN}$
- Sommatoria delle forze verticali verso l'alto: $F_{\text{vert. alto}} = 47928 \text{ daN}$
- Differenza tra forze verticali:
 $F_{\text{vert.}} = (69135 - 47928) \text{ daN} = 21207 \text{ daN}$
- Sommatoria delle forze orizzontali verso monte: $F_{\text{orizz. monte}} = 158962 \text{ daN}$
- Sommatoria delle forze orizzontali verso valle: $F_{\text{orizz. valle}} = 54716 \text{ daN}$
- Coefficiente attrito del terreno:
 $\theta = \tan(32^\circ) = 0.625$

Fattore di sicurezza:

$$F_s = \frac{158962 \text{ daN} + (21207 \text{ daN} \times 0.625)}{54716} = 3.15 > 1.3$$

3.3.2 VERIFICA STABILITA' AL RIBALTAMENTO

Si esegue la verifica a ribaltamento attorno al punto O della struttura, coincidente con il vertice a valle della briglia.

Caratteristiche terreno			
Angolo attrito interno	32	0.56	
Coeff. Spinta attiva	0.31		
Coeff. spinta passiva	3.25		
Coeff. spinta a riposo	0.47		

Verifica a ribaltamento (O)				
			Bracci	
P1	8000	[daN]	0.5	[m]
P2	5000	[daN]	2	[m]
P3	17875	[daN]	3.65	[m]

P4	6250	[daN]	5.55	[m]
Angolo paratoia	0	0		[m]
F1	0	F1 ORZZ	0	0 [m]
		F1 VERT	0	0 [m]
F2	6110	[daN]	3.65	[m]
F3	11750	[daN]	5.55	[m]
F4	25850	[daN]	0.85	[m]
F5	15125	[daN]	0.05	[m]
T1	7509	[daN]	0.85	[m]
T2	6231	[daN]	0.05	[m]
T3	44344	[daN]	1.25	[m]
T4	5371	[daN]	0.95	[m]
T5	832	[daN]	1.25	[m]
T6	15256	[daN]	0.85	[m]
F6	13625	[daN]	1.25	[m]
F7	15105	[daN]	0.95	[m]
F8	1805	[daN]	1.25	[m]
F9	3125	[daN]	0.85	[m]
F10	4750	[daN]	0.5	[m]
F11	9400	[daN]	2	[m]
SOTTOSPINTA A	5679	[daN/mq]		
SOTTOSPINTA B	5627	[daN/mq]		
SOTTOSPINTA C	9532	[daN/mq]		
SOTTOSPINTA D	9505	[daN/mq]		
SOTTOSPINTA E	8065	[daN/mq]		
SOTTOSPINTA F	8002	[daN/mq]		
LUNGHEZZA	16.7	[m]		
DELTA H	0.021	[m/m]		
S1	12357	[daN]	3.65	[m]
S2	18	[daN]	3.85	[m]
S3	24007	[daN]	1.5	[m]
S4	189	[daN]	2	[m]
S5	11253	[daN]	5.55	[m]
S6	105	[daN]	5.95	[m]

Momenti agenti:

- Momento stabilizzante ottenuto dal prodotto delle forze stabilizzanti per il relativo braccio: $M_{\text{stabilizzante}} = 256343 \text{ daNm}$

- Momento ribaltante ottenuto dal prodotto delle forze ribaltanti per il relativo braccio:

$$M_{\text{ribaltante}} = 195741 \text{ daNm}$$

Fattore di sicurezza:

$$F_s = \frac{256343 \text{ daNm}}{195741 \text{ daNm}} = 1.31 > 1.3$$

3.3.3 VERIFICA STABILITA' ALLO SCHIACCIAMENTO

Si esegue la verifica a schiacciamento determinando le sollecitazioni agenti in corrispondenza del baricentro della fondazione (G).

Caratteristiche terreno

Angolo attrito interno	32	0.56
Coeff. Spinta attiva	0.31	
Coeff. spinta passiva	3.25	
Coeff. spinta a riposo	0.47	

Verifica a schiacciamento (G)

			Bracci	
P1	8000	[daN]	2.9	[m]
P2	5000	[daN]	1.4	[m]
P3	17875	[daN]	0.25	[m]
P4	6250	[daN]	2.15	[m]
Angolo paratoia	0	0		[m]
F1	0	F1 ORZZ	0	0 [m]
		F1 VERT	0	0 [m]
F2	6110	[daN]	0.25	[m]
F3	11750	[daN]	2.15	[m]
F4	25850	[daN]	0.85	[m]
F5	15125	[daN]	0.05	[m]
T1	7509	[daN]	0.85	[m]
T2	6231	[daN]	0.05	[m]
T3	6405	[daN]	1.25	[m]
T4	8217	[daN]	0.95	[m]
T5	1273	[daN]	1.25	[m]
T6	2204	[daN]	0.85	[m]
F6	13625	[daN]	1.25	[m]
F7	15105	[daN]	0.95	[m]
F8	1805	[daN]	1.25	[m]
F9	3125	[daN]	0.85	[m]

F10	4750	[daN]	2.90	[m]
F11	9400	[daN]	1.4	[m]
SOTTOSPINTA A	5679	[daN/mq]		
SOTTOSPINTA B	5627	[daN/mq]		
SOTTOSPINTA C	9532	[daN/mq]		
SOTTOSPINTA D	9505	[daN/mq]		
SOTTOSPINTA E	8065	[daN/mq]		
SOTTOSPINTA F	8002	[daN/mq]		
LUNGHEZZA	16.7	[m]		
DELTA H	0.021	[m/m]		
S1	12357	[daN]	0.25	[m]
S2	18	[daN]	0.60	[m]
S3	24007	[daN]	1.9	[m]
S4	189	[daN]	1.15	[m]
S5	11253	[daN]	2.15	[m]
S6	105	[daN]	2.55	[m]

Azioni agenti:

- Momento stabilizzante ottenuto dal prodotto delle forze per il relativo braccio:
 $M_{\text{stabilizzante}} = 121161 \text{ daNm}$
- Momento ribaltante ottenuto dal prodotto delle forze per il relativo braccio:
 $M_{\text{ribaltante}} = 139055 \text{ daNm}$
- Sommatoria delle forze verso il basso:
 $F_{\text{vert. basso}} = 69135 \text{ daN}$
- Sommatoria delle forze verso l'alto:
 $F_{\text{vert. alto}} = 47928 \text{ daN}$

Determinazione dell'eccentricità presente in fondazione:

$$e = \frac{M}{N} = \frac{(139055 - 121161) \text{ daNm}}{(69135 - 47928) \text{ daN}} = \frac{(17894) \text{ daNm}}{(21207) \text{ daN}} = 0.84 \text{ m} = 84 \text{ cm.}$$

Altezza sezione pari a 680 cm.

Limite nocciolo $= (680/6) = 113 \text{ cm}$

Si ottiene che il centro di pressione è all'interno del nocciolo, la sezione reagente perciò è tutta compressa.

Determinazione degli sforzi agenti sul terreno:

- Azione assiale $N = 21207 \text{ daN}$
- Area sezione $A = (100 \times 680) \text{ cmq} = 68000 \text{ cmq.}$
- Momento agente $M = 1789400 \text{ daNcm}$

- Modulo resistenza $W=(1/6) \times 100 \times 680 \times 680 \text{ cmc} = 7706667 \text{ cmc}$

Sforzo minimo agente:

$$\sigma_{min} = \frac{N}{A} - \frac{M}{W} = 0.31 - 0.23 \frac{daN}{cmq} = 0.08 \frac{daN}{cmq}$$

Sforzo massimo agente:

$$\sigma_{max} = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = 0.31 + 0.23 \frac{daN}{cmq} = 0.54 \frac{daN}{cmq}$$

3.4 VERIFICA SOLLECITAZIONI SISMICHE IN ESERCIZIO

Secondo il D.M.14/01/2008 la vita nominale di un'opera assimilabile ad opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale è da assumersi ≥ 50 anni. Nel caso in esame si assume come vita nominale dell'opera in progetto il periodo di 50 anni. Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di ritorno di riferimento V_r ottenuto moltiplicando la vita nominale dell'opera per un coefficiente caratteristico della classe d'uso dell'opera. L'opera in progetto rientra nella classe d'uso II: costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti. Per questa Classe d'uso il periodo di riferimento per le azioni sismiche coincide con la vita nominale dell'opera e quindi, nel caso in esame, pari a 50 anni.

Per il Comune di Civate Camuno si riportano quindi i parametri caratteristici dell'azione sismica del D.M. 14/01/2008 per il periodo di riferimento di 50 anni.

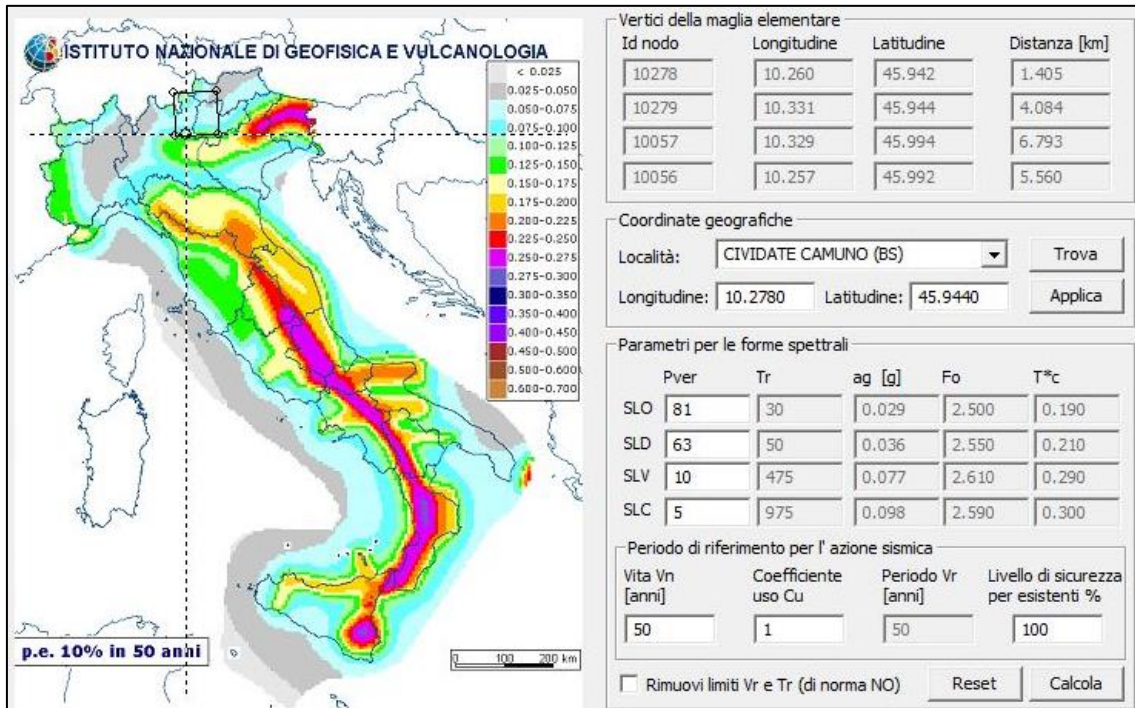


Figura 6 – parametri caratteristici dell'azione sismica (D.M. 14/01/2008).

La verifica è stata condotta secondo il Metodo Pseudostatico dove l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

La spinta del terreno (statica e dinamica insieme) può essere valutata secondo la seguente formulazione:

$$S_{AE} = 0.5 \gamma (1 \pm k_v) K_{AE} H^2$$

Dove il coefficiente di spinta attiva in condizioni dinamiche K_{AE} viene valutato come:

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\phi - \theta - \beta)}{\cos\theta \cos\beta \cos(\delta + \beta + \theta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \theta - i)}{\cos(\delta + \beta + \theta) \cos(i - \beta)}} \right]^2}$$

Dove:

- Φ angolo di attrito interno del materiale;
- $\theta = \arctg\left(\frac{k_h}{1 \pm k_v}\right)$ inclinazione risultante forza peso e forze di inerzia;
- β inclinazione del paramento di monte;
- δ angolo di attrito caratteristico tra opera in c.a. e terreno;
- i inclinazione del versante a monte;

I coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v possono essere valutati mediante le espressioni:

$$k_h = \beta_m \frac{a_{max}}{g}$$

$$- \quad k_v = \pm 0.5 k_h$$

Dove:

a_{max} è l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito,

g è l'accelerazione di gravità.

β_m dipende dalla categoria di sottosuolo e dal parametro a_g .

L'accelerazione massima può essere valutata con la relazione:

$$a_{max} = S_S S_T a_g$$

Con:

S_S coefficiente di amplificazione stratigrafica 1.363;

S_T coefficiente di amplificazione topografica 1.000;

a_g accelerazione orizzontale massima attesa in sito.

Il parametro β_m considerando una categoria di sottosuolo B risulta essere pari a 0.31.

Trascurando, a favore di sicurezza, l'attrito tra terreno e opera di fondazione e assumendo l'inclinazione del versante a monte nulla ed il paramento a monte verticale; considerando inoltre l'accelerazione caratteristica del sito per il periodo di riferimento si ottengono i seguenti valori. Le verifiche sono quindi state condotte considerando anche la componente di sollecitazione sismica.

3.4.1 VERIFICA STABILITA' ALLO SCORRIMENTO

Caratteristiche terreno		
Angolo attrito interno	32	0.56
Coeff. spinta attiva	0.31	
Coeff. spinta passiva	3.25	
Coeff. spinta a riposo	0.47	
Kv	0.0076	
kh	0.0152	
KAE	0.33	

Verifica allo scorrimento orizzontale		
P1	8000	[daN]
P2	5000	[daN]
P3	17875	[daN]
P4	6250	[daN]
Angolo inclin. paratoia	58.5	1.021018

F1	2340	F1 _{ORZZ}	1232 [daN]
		F1 _{VERT}	1995 [daN]
F2	2600	[daN]	
F3	5000	[daN]	
F4	11083.6	[daN]	
F5	15239.95	[daN]	
T1	3658	[daN]	
T2	7544	[daN]	
T3	15256	[daN]	
T4	23189	[daN]	
T5	8812	[daN]	
F6	3125	[daN]	
F7	4750	[daN]	
F8	1805	[daN]	
SOTTOSPINTA A	2814	[daN/mq]	
SOTTOSPINTA B	2350	[daN/mq]	
SOTTOSPINTA C	5715	[daN/mq]	
SOTTOSPINTA D	5474	[daN/mq]	
SOTTOSPINTA E	3521	[daN/mq]	
SOTTOSPINTA F	2964	[daN/mq]	
LUNGHEZZA	16.7	[m]	
DELTA H	0.186	[m/m]	
S1	7116	[daN]	
S2	157	[daN]	
S3	8892	[daN]	
S4	1671	[daN]	
S5	5876	[daN]	
S6	1160	[daN]	

Forze agenti:

- Sommatoria delle forze verticali verso il basso: $F_{\text{vert. basso}} = 46720 \text{ daN}$
- Sommatoria delle forze verticali verso l'alto: $F_{\text{vert. alto}} = 24871 \text{ daN}$
- Differenza tra forze verticali:
 $F_{\text{vert.}} = (46720 - 24871) \text{ daN} = 21849 \text{ daN}$
- Sommatoria delle forze orizzontali verso monte: $F_{\text{orizz. monte}} = 56937 \text{ daN}$
- Sommatoria delle forze orizzontali verso valle: $F_{\text{orizz. valle}} = 38757 \text{ daN}$
- Coefficiente attrito del terreno:
 $\theta = \tan(32^\circ) = 0.625$

Fattore di sicurezza:

$$F_S = \frac{56937 \text{ daN} + (21849 \text{ daN} \times 0.625)}{38757} = 1.82 > 1.3$$

3.4.1 VERIFICA STABILITA' AL RIBALTAMENTO

Si esegue la verifica a ribaltamento attorno al punto O della struttura, coincidente con il vertice a valle della briglia.

Caratteristiche terreno			
Angolo attrito interno	32	0.56	
Coeff. Spinta attiva	0.31		
Coeff. spinta passiva	3.25		
Coeff. spinta a riposo	0.47		
Kv	0.0076		
kh	0.0152		
KAE	0.33		

Verifica a ribaltamento (O)					
				Bracci	
P1	8000	[daN]		0.5	[m]
P2	5000	[daN]		2	[m]
P3	17875	[daN]		3.65	[m]
P4	6250	[daN]		5.55	[m]
Angolo inclin. paratoia	58.5	1.021018			
F1	2340	F1 ORZZ	1232	4.3	[m]
		FI VERT	1995	2.6	[m]
F2	2600	[daN]		3.65	[m]
F3	11750	[daN]		5.55	[m]
F4	11083.6	[daN]		0.85	[m]
F5	15239.95	[daN]		0.05	[m]
T1	3658	[daN]		0.85	[m]
T2	7544	[daN]		0.05	[m]
					[m]
T3	2204	[daN]		1.25	[m]
T4	2189	[daN]		0.95	[m]
T5	832	[daN]		1.25	[m]
F6	3125	[daN]		1.25	[m]
F7	4750	[daN]		0.95	[m]
F8	1805	[daN]		1.25	[m]
SOTTOSPINTA A	2814	[daN/mq]			
SOTTOSPINTA B	2350	[daN/mq]			
SOTTOSPINTA C	5715	[daN/mq]			

SOTTOSPINTA D	5474	[daN/mq]		
SOTTOSPINTA E	3521	[daN/mq]		
SOTTOSPINTA F	2964	[daN/mq]		
LUNGHEZZA	16.7	[m]		
DELTA H	0.186	[m/m]		
S1	7116	[daN]	3.65	[m]
S2	157	[daN]	3.85	[m]
S3	8892	[daN]	1.5	[m]
S4	1671	[daN]	2	[m]
S5	4701	[daN]	5.55	[m]
S6	928	[daN]	5.95	[m]

Momenti agenti:

- Momento stabilizzante ottenuto dal prodotto delle forze stabilizzanti per il relativo braccio: $M_{\text{stabilizzante}} = 201621 \text{ daNm}$
- Momento ribaltante ottenuto dal prodotto delle forze ribaltanti per il relativo braccio: $M_{\text{ribaltante}} = 102583 \text{ daNm}$

Fattore di sicurezza:

$$F_s = \frac{201621 \text{ daNm}}{102583 \text{ daNm}} = 1.96 > 1.5$$

3.4.1 VERIFICA STABILITA' ALLO SCHIACCIAMENTO

Si esegue la verifica a schiacciamento determinando le sollecitazioni agenti in corrispondenza del baricentro della fondazione (G).

Caratteristiche terreno		
Angolo attrito interno	32	0.56
Coeff. Spinta attiva	0.31	
Coeff. spinta passiva	3.25	
Coeff. spinta a riposo	0.47	
Kv	0.0076	
kh	0.0152	
KAE	0.33	

Verifica a schiacciamento (G)				
			Bracci	
P1	8000	[daN]	2.9	[m]
P2	5000	[daN]	1.4	[m]
P3	17875	[daN]	0.25	[m]
P4	6250	[daN]	2.15	[m]

Angolo paratoia	58.5	1.021018			
F1	2340	F1 _{ORZZ}	1232	4.3	[m]
		F1 _{VERT}	1995	0.65	[m]
F2	2600	[daN]		0.25	[m]
F3	11750	[daN]		2.15	[m]
F4	11083.6	[daN]		0.85	[m]
F5	15239.95	[daN]		0.05	[m]
T1	3658	[daN]		0.85	[m]
T2	7544	[daN]		0.05	[m]
					[m]
T3	2204	[daN]		1.25	[m]
T4	3349	[daN]		0.95	[m]
T5	1273	[daN]		1.25	[m]
F6	3125	[daN]		1.25	[m]
F7	3500	[daN]		0.95	[m]
F8	1805	[daN]		1.25	[m]
SOTTOSPINTA A	2814	[daN/mq]			
SOTTOSPINTA B	2350	[daN/mq]			
SOTTOSPINTA C	5715	[daN/mq]			
SOTTOSPINTA D	5474	[daN/mq]			
SOTTOSPINTA E	3521	[daN/mq]			
SOTTOSPINTA F	2964	[daN/mq]			
LUNGHEZZA	16.7	[m]			
DELTA H	0.186	[m/m]			
S1	7116	[daN]		0.25	[m]
S2	157	[daN]		0.60	[m]
S3	8892	[daN]		1.9	[m]
S4	1671	[daN]		1.15	[m]
S5	4701	[daN]		2.15	[m]
S6	928	[daN]		2.55	[m]

Azioni agenti:

- Momento stabilizzante ottenuto dal prodotto delle forze per il relativo braccio:
 $M_{\text{stabilizzante}} = 69296 \text{ daNm}$
- Momento ribaltante ottenuto dal prodotto delle forze per il relativo braccio:
 $M_{\text{ribaltante}} = 75164 \text{ daNm}$
- Sommatoria delle forze verso il basso:
 $F_{\text{vert. basso}} = 53470 \text{ daN}$
- Sommatoria delle forze verso l'alto:

$$F_{\text{vert. alto}} = 23464 \text{ daN}$$

Determinazione dell'eccentricità presente in fondazione:

$$e = \frac{M}{N} = \frac{(75164 - 69296) \text{ daNm}}{(53470 - 23464) \text{ daN}} = \frac{(5868) \text{ daNm}}{(30006) \text{ daN}} = 0.20 \text{ m} = 20 \text{ cm.}$$

Altezza sezione pari a 680 cm.

Limite nocciolo $= (680/6) = 113 \text{ cm}$

Si ottiene che il centro di pressione è all'interno del nocciolo, la sezione reagente perciò è tutta compressa.

Determinazione degli sforzi agenti sul terreno:

- Azione assiale $N = 30006 \text{ daN}$
- Area sezione $A = (100 \times 680) \text{ cmq} = 68000 \text{ cmq.}$
- Momento agente $M = 586800 \text{ daNcm}$
- Modulo resistenza $W = (1/6) \times 100 \times 680 \times 680 \text{ cmc} = 7706667 \text{ cmc}$

Sforzo minimo agente:

$$\sigma_{\min} = \frac{N}{A} - \frac{M}{W} = 0.44 - 0.08 \frac{\text{daN}}{\text{cmq}} = 0.36 \frac{\text{daN}}{\text{cmq}} < 2 \frac{\text{daN}}{\text{cmq}}$$

Sforzo massimo agente:

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = 0.44 + 0.08 \frac{\text{daN}}{\text{cmq}} = 0.52 \frac{\text{daN}}{\text{cmq}} < 2 \frac{\text{daN}}{\text{cmq}}$$

3.5 RISULTATI VERIFICHE

Di seguito si riportano i risultati ottenuti in termini di coefficienti di sicurezza per gli senari indagati:

Condizioni di normale esercizio:

- | | |
|--|--|
| ▪ Fattore di sicurezza allo scorrimento: | 1,87 ($\geq 1,30$) |
| ▪ Fattore di sicurezza al ribaltamento: | 1,97 ($\geq 1,50$) |
| ▪ $\sigma_{\max} =$ | 0,51 daN/cm ² ($\leq 2,00$) |
| ▪ $\sigma_{\min} =$ | 0,37 daN/cm ² ($\leq 2,00$) |

Condizioni di piena duecentennale:

- | | |
|--|--|
| ▪ Fattore di sicurezza allo scorrimento: | 3.15 ($\geq 1,30$) |
| ▪ Fattore di sicurezza al ribaltamento: | 1,31 ($\geq 1,30$) |
| ▪ $\sigma_{\max} =$ | 0,54 daN/cm ² ($\leq 2,00$) |
| ▪ $\sigma_{\min} =$ | 0,08 daN/cm ² ($\leq 2,00$) |

Sollecitazione sismica condizioni di esercizio:

- Fattore di sicurezza allo scorrimento: 1.82 ($\geq 1,30$)
- Fattore di sicurezza al ribaltamento: 1,96 ($\geq 1,50$)
- $\sigma_{\max} =$ 0,52 daN/cm² ($\leq 2,00$)
- $\sigma_{\min} =$ 0,36 daN/cm² ($\leq 2,00$)

4. ASPETTI GEOLOGICI GEOTECNICI

Per quanto riguarda gli aspetti geologici e geotecnici si rimanda all'apposita relazione geologica allegata al progetto (A.06), a firma del Dott. Geol. Bizioli Matteo e alla documentazione allegata, relativa alle prove in sito effettuate, in cui sono contenuti i dati relativi alla natura e alle caratteristiche delle aree interessate dalle opere.

5. ASPETTI IDROLOGICI

In merito a tale spetto, si faccia riferimento a quanto contenuto nello Studio Idrologico Idraulico di Compatibilità, redatto dallo Studio Taccolini Associati, in fase di procedura autorizzativa. Nel suddetto studio sono contenute le verifiche idrauliche delle opere in progetto, ed in particolar modo viene effettuata la verifica delle opere con piena Tr 200 e sbarramento di progetto in alveo non abbattuto. A tal proposito occorre precisare come in fase di progettazione esecutiva si sia optato per una soluzione alternativa a quella precedentemente prevista, che vedeva l'utilizzo di elementi gonfiabili, simili a cuscinetti pneumatici, che gonfiati o sgonfiati tramite un compressore ad aria permettevano l'innalzamento o l'abbassamento della quota di ritenuta. La nuova soluzione prevede la realizzazione di una traversa mobile mediante la installazione di una paratoia a ventola completamente abbattibile. Occorre precisare come la nuova soluzione adottata risulti dal punto di vista del livello di regolazione a monte, dell'ingombro trasversale dell'opera e dell'altezza di ritenuta, identico alla soluzione precedentemente adottata.

Dall'analisi dello studio idrologico, si evince che la traversa in progetto, per eventi con Tr di 200 anni, non comporta particolari aggravamenti al profilo idraulico che già di per sé mostra insufficienze in sinistra. Il fatto che la traversa non comporti grosse variazioni deriva sia dal suo funzionamento con efflusso rigurgitato da valle sia perché essendo localizzata in una zona con esondazioni la riduzione di sezione che la traversa induce è comunque limitata.

6. ASPETTI IDRAULICI

6.1 SCHEMI E CALCOLI IDRAULICI PORTATA MASSIMA DERIVABILE

L'impianto in progetto è stato dimensionato al fine di garantire la derivazione della portata massima in concessione pari a 19.167 l/s. Il convogliamento delle acque alla centrale di produzione avverrà mediante la realizzazione della traversa in alveo e la realizzazione di una bocca di presa laterale, posta in destra orografica. La realizzazione della traversa in alveo garantirà al contempo la formazione di un battente d'acqua in ingresso alla bocca di presa laterale avente un'altezza pari a 1,8 m. Tale valore, moltiplicato per la larghezza della bocca di presa, pari a 14 m garantisce una sezione di deflusso avente un'area di 25,2 m.

A tale valore va comunque dedotto l'ingombro dato dalla griglia e le relative perdite di carico.

La limitazione della portata massima derivabile è garantita inoltre dal dimensionamento delle turbine Kaplan che saranno installate. Utilizzando le turbine in progetto, dimensionate per una portata massima di 9.854 l/s, viene garantita automaticamente la limitazione della portata a 19.168 l/s.

6.2 SCHEMI E CALCOLI IDRAULICI REGOLAZIONE LIVELLO DI MONTE

Per il corretto funzionamento dell'impianto, in relazione al tipo di turbina installato, è previsto il mantenimento del livello idrico di monte ad una quota di 259,30 m s.l.m. La regolazione avverrà con l'inserimento di un misuratore di livello ad ultrasuoni posizionato in prossimità della traversa mobile.

Una peculiarità di questo sistema di misura è quella di non avere sensori a contatto con il flusso idrico, ciò comporta minor pericolo di danneggiamento o intasamento dovuto al materiale solido trasportato dalla corrente.



Figura 7 - Misuratore di livello a ultrasuoni montato su apposito supporto

Il principio di funzionamento di tale strumento è basato sui tempi di risposta dell'eco riflesso. Nella prima fase un trasduttore piezoelettrico emette una quantità determinata di onde sonore che si propagano verso la superficie del livello da misurare, nella seconda metà lo stesso strumento ne riceve l'eco calcolando il tempo intercorso tra emissione e ricezione dell'ultimo segnale emesso e riconosciuto. Il dispositivo traduce il tempo percorso dall'onda sonora in distanza, poiché la velocità di propagazione del suono nel mezzo, in questo caso aria, è nota (circa 300 m/s). Il segnale prodotto in mA è direttamente proporzionale alla distanza tra il sensore e il pelo dell'acqua.

Avendo questo sensore un'uscita di tipo elettrico è facilmente leggibile attraverso un qualsiasi sistema di acquisizione dati.

Caratteristiche tecniche del trasmettitore:

Tipologia:	trasmettitore di livello a sonda ultrasonora compensata in temperatura;
Campo di misura:	da 0 – 0,2 m a 0 – 5 m;
Segnale in uscita:	4 – 20 mA;
Programmabilità in sito del range di misura e del valore di corrente in uscita;	
Precisione:	$\pm 0,5\%$ del valore letto;
Grado di protezione:	IP68;
Alimentazione:	220 V a.c. o 24 V d.c.;

Il misuratore di livello, trasmettendo i dati misurati al PLC dell'impianto,

determinerà la regolazione delle due turbine Francis ad asse verticale e la regolazione delle n. 3 paratoie a ventola sullo sbarramento.

Il sistema di controllo della posizione della paratoia verrà realizzato con n°2 sensori angolari da posizionare sullo scudo, dotati di finecorsa tarabili per le posizioni estreme (Aperto-Chiuso). I due sensori oltre ad indicare la posizione angolare della paratoia verranno utilizzati per la sincronizzazione dei due cilindri oleodinamici in modo da poter correggere, mediante il circuito elettroidraulico, l'eventuale sbandamento fra le paratoie. I sensori saranno inoltre dotati di apposite protezioni per garantire una perfetta tenuta anche in caso di completa immersione per lunghi tempi.

Sul circuito di comando dei cilindri verrà inserito un sistema elettrico a galleggiante installato all'interno di una tubazione di calma a una quota predefinita (irraggiungibile durante l'esercizio normale), questo galleggiante qualora venisse interessato dal livello in bacino invia un impulso elettrico che sorpassa la logica di governo impostata sul PLC agendo direttamente sulle elettrovalvole di controllo discesa delle ventole posizionandola a completo abbattimento.

In caso di completo abbattimento della paratoia, la sezione idraulica di deflusso risulterà essere quella presente allo stato attuale.

Qui di seguito vengono riportate alcune simulazioni relative al grado di apertura delle paratoie a ventola in relazione alla portata transitanti nel fiume Oglio.

6.2.1 SIMULAZIONE CON PORTATA DI PIENA Tr 200

Per la determinazione della portata e del battente idrico in corrispondenza dello sbarramento, si sono utilizzati i dati ricavati dallo Studio idrologico idraulico di compatibilità, redatto dallo Studio Taccolini Ingegneri Associati.

SEZIONE LONGITUDINALE SBARRAMENTO
SIMULAZIONE CON Q_{Tr 200}
Scala 1:200

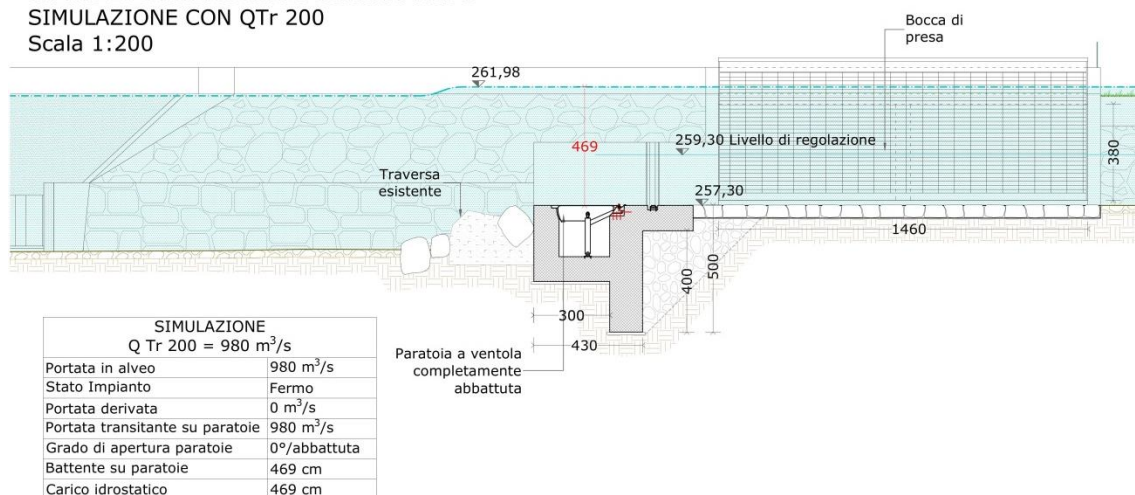


Figura 8 – Simulazione con portata di piena Tr 200

In questa configurazione l'impianto risulta fermo e la paratoia a ventola completamente abbattuta. I battente d'acqua in corrispondenza dello sbarramento è di 469 cm.

6.2.2 SIMULAZIONE CON PORTATA DI PIENA Tr 2

Per la determinazione della portata in corrispondenza dello sbarramento, si sono utilizzati i dati ricavati dallo Studio idrologico idraulico di compatibilità, redatto dallo Studio Taccolini Ingegneri Associati, mentre per la determinazione del battente idrico in corrispondenza della traversa si è applicata la seguente formula di Chezy:

$$Q = A \cdot \chi \cdot \sqrt{R \cdot i}$$

dove: Q = Portata

A = Area di deflusso

R = Raffio idraulico

χ = coefficiente di scabrezza

i = Pendenza longitudinale alveo

SEZIONE LONGITUDINALE SBARRAMENTO
SIMULAZIONE CON Q Tr 2
Scala 1:200

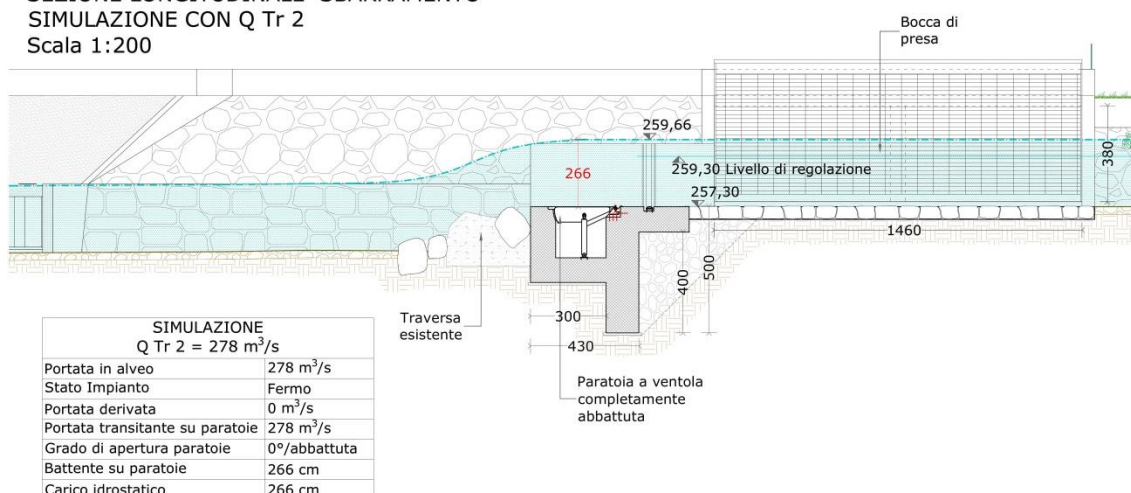


Figura 9 – Simulazione con portata di piena Tr 2

In questa configurazione l'impianto risulta fermo e la paratoia a ventola completamente abbattuta. I battente d'acqua in corrispondenza dello sbarramento è di 266 cm. Le paratoie risultano completamente abbattute ed il livello idrico raggiunge la quota di 259.66 m.s.l.m. superiore al livello di regolazione (259.30 m.s.l.m.). Per tale valore di portata non è infatti possibile effettuare la regolazione del livello a monte della traversa.

6.2.3 SIMULAZIONE CON PORTATA MASSIMA MENSILE

Per la determinazione della portata in corrispondenza dello sbarramento, si sono utilizzati i dati ricavati dallo Studio idrologico idraulico di compatibilità, redatto dallo Studio Taccolini Ingegneri Associati, mentre per la determinazione del battente idrico in corrispondenza della traversa si è applicata la legge di efflusso per le bocche a stramazzo:

$$h = \left(\frac{Q}{\mu \cdot L \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

dove: Q = Portata = 54,5 m³/s

h = battente

μ = coefficiente di efflusso = 0,385 (parete grossa)

L = Larghezza stramazzo = 26,8 m

SEZIONE LONGITUDINALE SBARRAMENTO
SIMULAZIONE CON Q max mensile
Scala 1:200

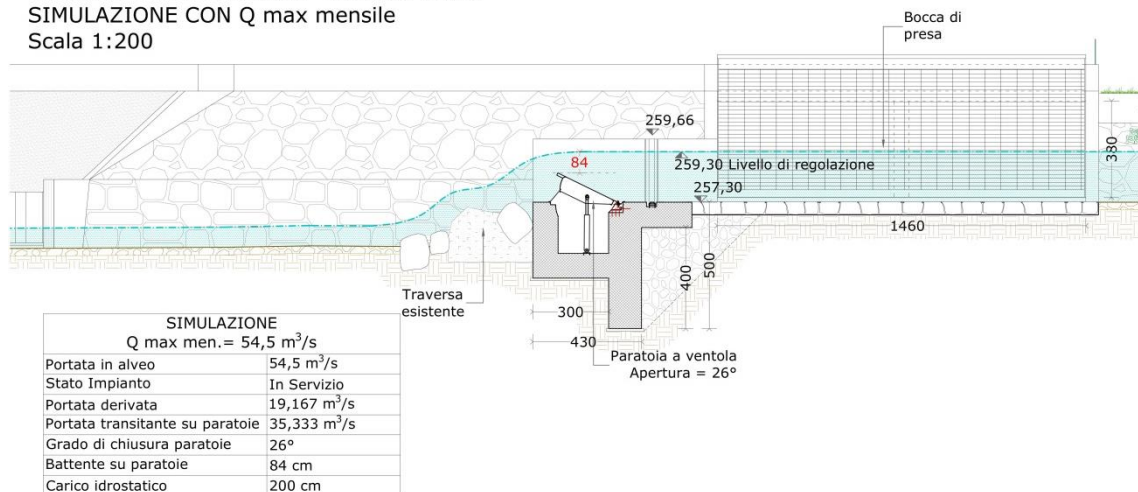


Figura 10 – Simulazione con portata massima mensile

In questa configurazione l'impianto risulta in servizio e la paratoia a ventola parzialmente aperta. Il battente d'acqua in corrispondenza dello sbarramento è di 84 cm. Il livello a monte può dunque essere mantenuto pari a 259.30 m.s.l.m. (livello di regolazione) fissando un grado di apertura di 26°.

6.2.4 SIMULAZIONE CON PORTATA MEDIA ANNUA NON ANTROPIZZATA

Per la determinazione della portata in corrispondenza dello sbarramento, si sono utilizzati i dati ricavati dallo Studio idrologico idraulico di compatibilità, redatto dallo Studio Taccolini Ingegneri Associati, mentre per la determinazione del battente idrico in corrispondenza della traversa si è applicata la legge di efflusso per le bocche a stramazzo:

$$h = \left(\frac{Q}{\mu \cdot L \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

dove: Q = Portata = 54,5 m³/s

h = battente

μ = coefficiente di efflusso = 0,385 (parete grossa)

L = Larghezza stramazzo = 26,8 m

SEZIONE LONGITUDINALE SBARRAMENTO
SIMULAZIONE CON Q med annua naturale
Scala 1:200

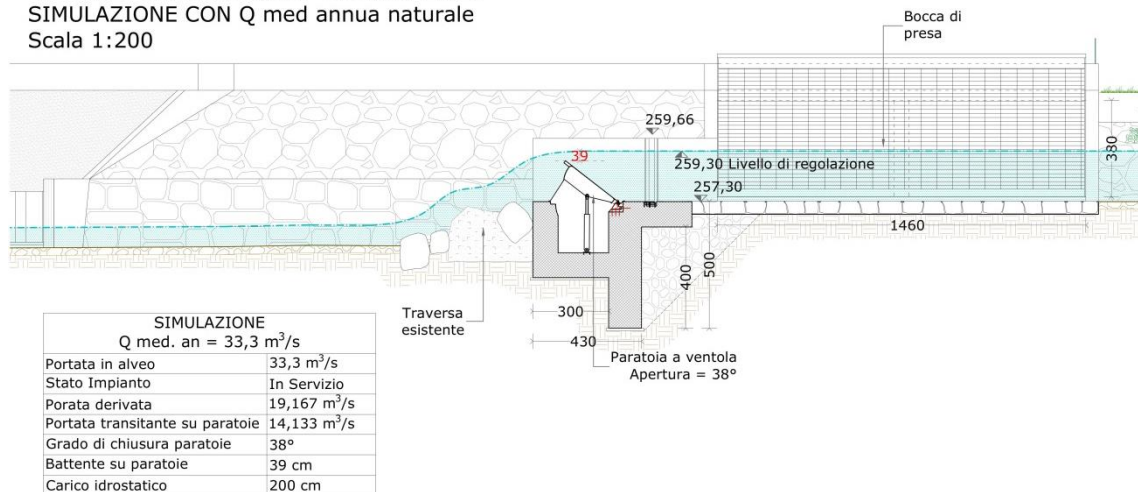


Figura 11 – Simulazione con portata media annua naturale

In questa configurazione l'impianto risulta in servizio e la paratoia a ventola parzialmente aperta. Il battente d'acqua in corrispondenza dello sbarramento è di 39 cm. Il livello a monte può dunque essere mantenuto pari a 259.30 m.s.l.m. (livello di regolazione) fissando un grado di apertura di 38°.

6.2.5 PROFILI IDRAULICI A MONTE E A VALLE DELLO SBARRAMENTO IN CONDIZIONI DI PIENA DI PROGETTO

Per quanto riguarda la determinazione del profilo idraulico a monte e a valle dello sbarramento, in condizioni di piena di progetto, si rimanda a quanto riportato nello Studio idrologico idraulico di compatibilità, redatto dallo Studio Taccolini Ingegneri Associati.

In tale studio è stata effettuata, a titolo puramente indicativo, una simulazione ipotizzando che lo sbarramento mobile sia fisso con quota pari a 259,30 m s.l.m. Questa condizione non è in pratica realizzabile in quanto lo sbarramento mobile non è in grado di sopportare i conseguenti battenti anche nell'ipotesi in cui il sistema di abbattimento sia fuori esercizio o guasto. Dalle risultanze effettuate, si evince che la traversa per eventi con Tr di 200 anni non comporta particolari aggravamenti al profilo idraulico che già di per sé mostra insufficienze in sinistra. Il fatto che la traversa non comporti grosse variazioni deriva sia dal suo funzionamento con efflusso rigurgitato da valle sia perché essendo localizzata in una zona con esondazioni la riduzione di sezione che la traversa induce è comunque limitata.

SEZIONE	PELO LIBERO NATURALE	PELO LIBERO PROGETTO (paratoia alzata)	DIFFERENZA DI QUOTA TRA CONDIZIONE NATURALE E DI PROGETTO
N.	m s.l.m.	m s.l.m.	m
032	265,2	265,2	0
16	265,1	265,1	0
15	264,62	264,62	0
14	264,18	264,18	0
13	264,54	264,54	0
12	262,96	262,96	0
11	262,05	262,05	0
10	262,02	262,15	+ 0,13
9	261,98	261,99	+ 0,01
8	261,63	261,63	0
7	260,06	260,06	0
6	259,58	259,58	0
5 bis	259,33	259,33	0
5	258,76	258,76	0
4	258,11	258,11	0
3	257,69	257,69	0
2	256,90	256,90	0
1	256,24	256,24	0
030	254,95	254,95	0

Tabella 1 -Confronto stato di fatto con progetto per Q Tr 200 anni

6.2.6 VOLUME D'INVASO A MONTE DELLA TRAVERSA COMPRESO TRA I PROFILI DI RIGUIRGITO NATURALE E DI PROGETTO

Il volume di invaso V a monte della traversa, così come specificato al punto b dell'articolo 7.3 delle "Direttive per l'applicazione della legge regionale 23 marzo 1998, n. 8 in materia di costruzione, esercizio e vigilanza degli sbarramenti di ritenuta e dei bacini di accumulo di competenza regionale", approvate con D.G.R 5/3/2001 N° 3699, è il volume compreso, per la portata di piena di progetto, tra i profili di rigurgito naturale e di progetto.

Come già evidenziato, essendo lo sbarramento composto da una paratoia a ventola completamente abbattibile, il volume di invaso in condizioni di piena risulta nullo; infatti a paratoia completamente abbattuta la sezione idraulica disponibile risulta essere la medesima presente allo stato attuale.

Confrontando i profili di rigurgito nella configurazione di progetto e in quella di stato di fatto e considerando l'impossibilità di abbassamento della paratoia a ventola a causa di avarie nel sistema di controllo, al passaggio dell'onda di piena, i risultati ottenuti e non differiscono sostanzialmente dalla situazione di stato di progetto con

paratoia abbassata. Dalla Tabella 1 si può notare come la presenza dell'impianto induca variazioni ridotte dei livelli idrici al passaggio della piena duecentennale.

Tutto ciò è dettato dal fatto che, in condizioni di piena, la variazione della sezione di passaggio del flusso idrico indotta dalla presenza della traversa risulta essere minima.

Si precisa inoltre che la paratoia a ventola è fornita di sistema di sganciamento e apertura autonoma, anche in caso di avaria del sistema di controllo.

6.2.7 VERIFICA AREE DI DEFLUSSO IN CORRISPONDENZA DEGLI INSEDIAMENTI A VALLE DELLO SBARRAMENTO

Nella tavola L.05 - L.R. 8/98 - *Sezioni alveo a valle dello sbarramento*, vengono riportate, così come previsto al paragrafo 7.2 lettera b delle direttive per l'applicazione della legge L.R. 8/98, le sezioni singolarmente rilevate in corrispondenza degli insediamenti a valle dello sbarramento, con individuata l'area di deflusso pari a 75 m².

6.3 SCHEMI E CALCOLI IDRAULICI OPERE DI SGHIAIAMENTO

Nell'impianto in progetto le opere di sghiaimento sono costituite da n.3 paratoie a ventola che compongono lo sbarramento. Qualora si rendesse necessario lo sghiaimento del bacino si procederà semplicemente all'abbattimento delle paratoie, in modo tale da ripristinare la sezione naturale dell'alveo, garantendo un'efficace pulizia del bacino di monte.

SEZIONE LONGITUDINALE SBARRAMENTO
SIMULAZIONE OPERAZIONE DI SGHIAIAMENTO
Scala 1:200

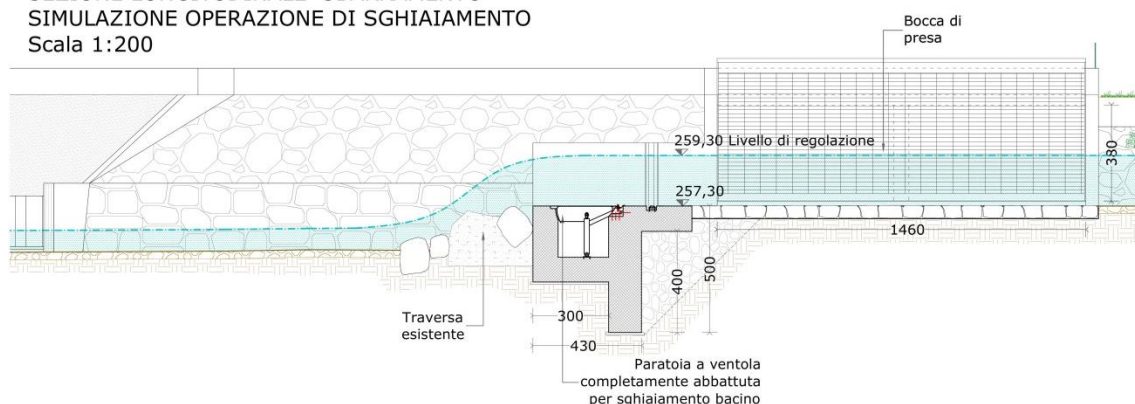


Figura 12 – Simulazione operazioni di sghiaimento

6.4 SCHEMI E CALCOLI IDRAULICI MOTI DI

INFILTRAZIONE

Per la verifica a sifonamento della traversa in progetto si fa riferimento al criterio di Bligh-Lane, che definisce il rapporto di scorrimento R_s come:

$$R_s = \frac{\frac{1}{3}L_o + L_v}{\Delta h}$$

Dove:

L_o = lunghezza dei tratti con pendenza minore di 45° ;

L_v = lunghezza dei tratti con pendenza maggiore di 45° ;

Δh = abbassamento piezometrico tra monte e valle.

Tale rapporto, deve essere superiore al valore R_s limite, variabile a seconda del tipo di terreno e, assunto in questo caso pari a 5, essendo la traversa in parte innestata su depositi alluvionali.

La sezione di riferimento è riportata nella figura seguente e considera l'intero corpo traversa costituito dal nuovo elemento che ospita la paratoia a ventola, la traversa esistente ed il selciato in progetto posto immediatamente a valle:

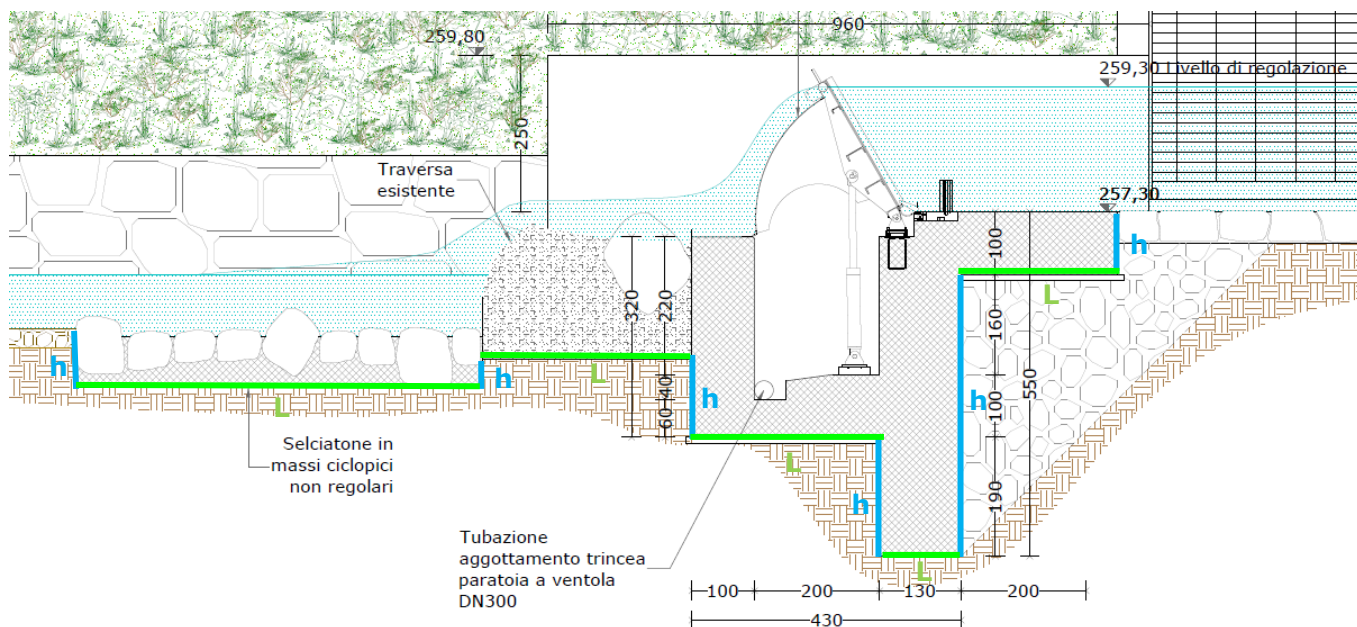


Figura 13 – Sezione traversa con evidenziato dente di fondazione.

$$L_o = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 = 2,5 + 1,3 + 3 + 3,35 + 6,50 = 16,65 \text{ m}$$

$$L_v = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 = 1 + 4,5 + 1,9 + 1,25 + 0,4 + 0,9 = 9,95 \text{ m}$$

$$\Delta h = 3 \text{ m} \text{ (differenza tra livello di regolazione di monte e livello di scarico a valle)}$$

$$R_s = \frac{\frac{1}{3}L_o + L_v}{\Delta h} = \frac{\frac{1}{3} \cdot 16.65 + 9.95}{3} = 5.17$$

Si ottiene $R_s = 5.17$, superiore al valore limite posto pari a 5.

6.5 SCHEMI E CALCOLI IDRAULICI SCALA DI RIMONTA

Come da nota del P.G. n.0058368/13 del 15/03/2013 dell'ufficio pesca della Provincia di Brescia, al fine di garantire il passaggio della fauna ittica, l'impianto verrà dotato, in destra orografica, di una scala di risalita a bacini successivi, tipologia di passaggio maggiormente utilizzata nel territorio lombardo.

Di seguito i dati principali utilizzati per la corretta progettazione della scala di rimonta dell'ittiofauna, sono:

- Portata di progetto:	> 300 l/s
- Salto tra bacini:	12 cm
- Pendenza massima:	5,8 %
- Potenza dissipata:	147,8 W/mc
- Larghezza feritoia:	0,39 m
- Larghezza bacini:	1,2 m
- Lunghezza bacini:	2,0 m
- Altezza profilo bagnato bacini:	1,0 m
- N. Bacini:	24

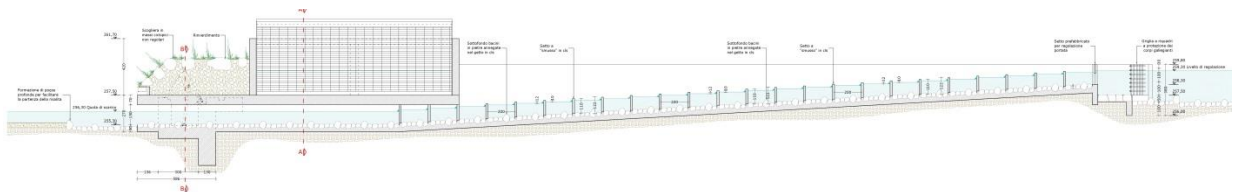


Figura 14 - Sezione longitudinale della scala di risalita per ittiofauna

La scelta progettuale adottata prevede la realizzazione di bacini caratterizzati da stramazzo rigurgitato con fenditura laterale che dal fondo della vasca si sviluppa per tutta l'altezza della sezione di chiusura del bacino; si è deciso per questa soluzione poiché meno selettiva rispetto alla previsione di due luci separate come l'orifizio di fondo e la luce a stramazzo laterale.

La scala, dimensionata per il passaggio di 300 l/s, è costituita da 24 bacini successivi, ciascuno avente dimensioni nette pari a 2,00 m x 1,20 m, la pendenza complessiva della scala risulta essere del 5,8 %.

Con questa soluzione l'altezza da superare viene suddivisa in una serie di piccoli salti che alimentano altrettanti bacini.

Il dislivello fra una vasca e la successiva è pari a 12 cm mentre la larghezza della fessura per lo stramazzo è di 39 cm con un'altezza di carico sul fondo pari a 100 cm. Il ruolo dei bacini è quello di dissipare, in modo conveniente, l'energia associata al flusso d'acqua che transita sulla scala, oltre a fornire utili zone di riposo necessarie alla fauna ittica in risalita. Il fondo dei bacini è caratterizzato dalla presenza di massi con dimensioni caratteristiche $d=30$ cm annegati a mano nel calcestruzzo per 10 cm. Tale struttura permette di svolgere la duplice funzione sia di rilascio di parte della portata di DMV, sia di risalita dell'ittiofauna.

La scala è dimensionata in modo tale che il livelli idrico in ciascun bacino sia pari all'altezza dei bacini stesso.

La formula per il calcolo della portata attraverso lo stramazzo della fenditura laterale è:

$$Q_{stram} = \mu \cdot L \cdot h \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot H} = 0,300 \text{ m}^3/\text{s}$$

dove: Q_{stram} = portata transitante dalla bocca a stramazzo

μ = coefficiente di contrazione laterale = 0,51 (profilo smussato e liscio – profilo arrotondato del setto pari a 20 cm)

h = carico sulla fessura = 1,00 m

H = dislivello bacini = 0,12 m

g = accelerazione di gravità = 9,81 m/s²

L = larghezza della fessura = 0,39 m

Per cui si ha che la portata che complessivamente defluisce all'interno del manufatto di risalita dell'ittiofauna è pari a 300 l/s.

Tale valore è influenzato dal fatto che gli stramazzi tra un bacino e l'altro risultano quasi totalmente rigurgitati.

La difficoltà di risalita dei pesci aumenta con l'aumentare della turbolenza e dell'aerazione dei bacini; per questo motivo viene adottato per la progettazione, come indicatore di efficienza di un passaggio a bacini, la potenza dissipata per unità di volume espressa dalla formula:

$$P_v = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta h}{V_a} = 147 \text{ W/mc} \leq 150 \text{ W/mc}$$

dove: P_v = potenza dissipata per unità di volume [W/m³]

ρ = densità dell'acqua = 1000 kg/m³;

Q = portata transitante nella scala per pesci;

Δh = dislivello fra i bacini = 0,12 m;

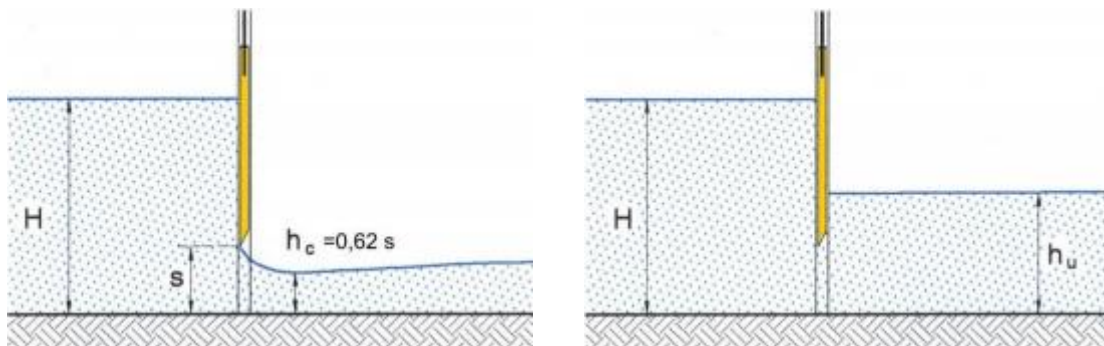
g = accelerazione di gravità = 9,81 m/s²;

V_a = volume d'acqua nel bacino [m³]

Numerose linee guida consigliano di non superare i 200 W/m³ per i salmonidi, mentre tale limite scende a 150 W/m³ per i ciprinidi. L'adozione di valori inferiori garantisce anche la risalita di pesci di piccola taglia, indipendentemente dalla specie e, pertanto, soprattutto nei casi in cui non sono sufficientemente note informazioni dettagliate circa la comunità ittica, è consigliabile rimanere sempre entro valori al di sotto dei 150 W/ m³.

La portata verrà rilasciata mediante una bocca a battente in parete sottile a sezione rettangolare, di larghezza pari a 0,40 m e di altezza pari a 0,75 m, realizzata all'imbocco della scala di rimonta. Tale bocca, ricavata mediante la posa di un setto prefabbricato, verrà calibrata in fase di esercizio.

Per valutare il dimensionamento da realizzare, in condizioni di normale regolazione del bacino di monte, si è utilizzata la legge di efflusso tipica dell'efflusso da paratoia rigurgitata ottenendo:



$$Q = \mu \cdot A_l \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot (H - h_u)} = 0,304 \text{ m}^3/\text{s}$$

dove: Q = portata transitante dalla bocca

μ = coefficiente d'efflusso = 0,66 ($s > H/4$)

A_l = Area dello sbocco = 0,30 m²

g = accelerazione di gravità = 9,81 m/s²

$H - h_u$ = dislivello tra le vasche = 0,120 m

Per cui si ha che la portata che complessivamente defluisce all'interno del manufatto di risalita dell'ittiofauna è pari a 304 l/s.

All'imbocco di valle e di monte della scala di rimonta è prevista la realizzazione di una serie di "riffle & pool" con il compito di indirizzare la fauna ittica verso alla scala di rimonta e facilitarne l'accesso.

6.6 INDICAZIONI SULLA MOVIMENTAZIONE E REGOLAZIONE AUTOMATICA DELLE PARATOIE

Come già evidenziato nella relazione tecnica allegata al progetto, la movimentazione di ogni paratoia sarà affidata a 2 cilindri oleodinamici, posizionati sulla fondazione in cls in progetto, al di sotto della soglia di rotazione delle paratoie ed aventi le seguenti caratteristiche:

- Pressione max. del cilindro 200 Bar
- Pressione di prova cilindro 300 Bar
- Cilindro in tubo d'acciaio Fe 52.1 con flange d'estremità in Fe 510, boccola di mandata olio, occhio sul fondello inferiore con snodo sferico autocentrante in Fe 510
- Asta di manovra in acciaio C40 bonificato, con tratto destinato alla corsa cromato (sp. 50 micron); estremità inferiore filettata per unione allo stantuffo ed estremità superiore filettata per unione alla forcella di collegamento paratoia
- Stantuffo in acciaio C40 con guarnizione di tenuta e fasce di usura-guida in resina acetica a bassissimo attrito.

Per necessità idrauliche riferite alla capacità dell'impianto di poter derivare le portate chieste in concessione e per ottimizzare la produzione di energia elettrica si prevede di elevare l'attuale pelo medio dell'acqua a monte dello sbarramento di circa 2 m. Tale livello viene mantenuto in caso di funzionamento in normale regime idrologico del fiume, grazie all'inserimento di un misuratore di livello ad ultrasuoni posizionato in prossimità della traversa mobile, che in diretta comunicazione con il PLC, comanderà la movimentazione dei cilindri oleodinamici.

Il principio di funzionamento del misuratore di livello è basato sui tempi di risposta dell'eco riflesso. Nella prima fase un trasduttore piezoelettrico emette una quantità determinata di onde sonore che si propagano verso la superficie del livello da misurare, nella seconda metà lo stesso strumento ne riceve l'eco calcolando il tempo intercorso tra emissione e ricezione dell'ultimo segnale emesso e riconosciuto. Il dispositivo traduce il tempo percorso dall'onda sonora in distanza, poiché la velocità di propagazione del suono nel mezzo, in questo caso aria, è nota (circa 300 m/s). Il segnale prodotto in mA è direttamente proporzionale alla distanza tra il sensore e il pelo dell'acqua.

Avendo questo sensore un'uscita di tipo elettrico è facilmente leggibile attraverso un qualsiasi sistema di acquisizione dati.

Caratteristiche tecniche del trasmettitore:

Tipologia:	trasmettitore di livello a sonda ultrasonora compensata in temperatura;
Campo di misura:	da 0 – 0,2 m a 0 – 5 m;
Segnale in uscita:	4 – 20 mA;
Programmabilità in sito del range di misura e del valore di corrente in uscita;	
Precisione:	$\pm 0,5\%$ del valore letto;
Grado di protezione:	IP68;
Alimentazione:	220 V a.c. o 24 V d.c.

Il sistema di controllo della posizione delle paratoie verrà realizzato con n°2 sensori angolari da posizionare sullo scudo, dotati di finecorsa tarabili per le posizioni estreme (Aperto-Chiuso). I due sensori oltre ad indicare la posizione angolare della paratoia verranno utilizzati per la sincronizzazione dei due cilindri oleodinamici in modo da poter correggere, mediante il circuito elettroidraulico, l'eventuale sbandamento fra le paratoie.

I sensori saranno inoltre dotati di apposite protezioni per garantire una perfetta tenuta anche in caso di completa immersione per lunghi tempi.

Sul circuito di comando dei cilindri verrà inserito un sistema elettrico a galleggiante installato all'interno di una tubazione di calma a una quota predefinita (irraggiungibile durante l'esercizio normale), questo galleggiante qualora venisse interessato dal livello in bacino invia un impulso elettrico che sorpassa la logica di governo impostata sul PLC agendo direttamente sulle elettrovalvole di controllo discesa delle ventole posizionandola a completo abbattimento.

In merito invece alla movimentazione della paratoia in caso di eventi di piena e contemporaneo avaria del sistema di controllo, si precisa che la paratoia, progettata per un carico idrostatico massimo (assunto per progetto) pari 2,60 m, è provvista di sistema di sganciamento e apertura autonoma, che garantirà il ripristino della sezione idraulica esistente.