



*Il Commissario Straordinario
delegato all'attuazione degli interventi
di mitigazione del rischio idrogeologico*



Regione
Lombardia



Parco Regionale
Valle del Lambro

Comune di Costa Masnaga (LC)



Oggetto

UTILIZZAZIONE DELLA CAVA DI BRENNO QUALE VASCA DI LAMINAZIONE
DEL TORRENTE BEVERA DI MOLTENO - COMUNE DI COSTA MASNAGA (LC)

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE ILLUSTRATIVA GENERALE

Progettisti -Timbri e Firme



PARCO REGIONALE DELLA
VALLE DEL LAMBRO

Via Veneto 19
TRIUGGIO

web: www.parcovalldelambro.it
web: www.progettolambro.it

Consulenze

Progettazione Idraulica: prof. ing. Maurizio ROSSO - ing. Santo LA FERLITA

Progettazione Strutturale: ing. Piergiorgio LOCATELLI

Consulenza Geotecnica: prof. ing. Claudio DI PRISCO

Consulenza Ambientale: arch. Moris LORENZI

VERSIONE N°

DATA

DESCRIZIONE REVISIONE E RIFERIMENTI DOCUMENTI SOSTITUTIVI

Elaborato

0

DICEMBRE 2014

EMISSIONE

R01



INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. RISPONDENZA ALLE FINALITÀ DEL PROGETTO PRELIMINARE.....	4
3. SINTESI DEGLI ASPETTI TECNICI E DELLE RELAZIONI SPECIALISTICHE	8
3.1 ASPETTI IDROLOGICI E IDRAULICI	8
3.2 ASPETTI GEOLOGICI E GEOTECNICI	12
3.3 ASPETTI STRUTTURALI	15
4. IMPATTI ATTESI E COMPENSAZIONI PREVISTE.....	18
4.1 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI	18
4.2 COMPENSAZIONI PREVISTE	19
4.3 MONITORAGGIO POST-OPERAM	21
5. INDICAZIONI PER LA PROGETTAZIONE ESECUTIVA.....	22



1. PREMESSA

La relazione illustrativa descrive le attività di progettazione definitiva delle opere di regolazione delle portate per consentire "l'utilizzazione della Cava di Brenno quale vasca di laminazione del torrente Bevera di Molteno in Comune di Costa Masnaga (LC)".

Nel novembre 2002, in occasione di un periodo particolarmente prolungato di piogge di carattere ed intensità fortemente variabili, i Comuni della valle del Lambro, ed in particolare quelli posti a valle del lago di Pusiano, hanno subito l'esondazione del fiume Lambro in zone particolarmente urbanizzate con conseguenti notevoli danni sia agli immobili sia alle infrastrutture.

Questo episodio ha mostrato, con tutta evidenza, che l'intero bacino del Lambro è vulnerabile e carente di aree di laminazione per accogliere ondate di piena tutt'altro che eccezionali tant'è che la frequenza delle piene che causano esondazioni nelle città sono venticinquennali (1951-1976-2002).

A seguito della piena del 2002 l'Autorità di Bacino del Fiume Po commissionò uno "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona", che venne completato nel settembre 2003, nel quale veniva analizzato lo stato dell'arte del rischio idraulico sull'asta del Lambro e venivano identificati gli interventi strategici da attuare al fine di porre la valle in sicurezza.

Per quanto riguarda lo stato di fatto lo studio riportava quanto segue:

"Lungo l'intero tratto 1, dall'uscita del lago di Pusiano fino a Villasanta, si ha una generale incompatibilità dell'alveo per portate duecentennali. Si osserva che la portata compatibile è inferiore alla portata con tempo di ritorno pari a 200 anni; le aree di allagamento conseguenti a tale insufficienza generalizzata sono più estese in alcune zone (da Merone, località Baggero, fino a Briosco, alla confluenza con la Bevera di Renate e a Lesmo e Villasanta) e meno estese in altre (a Verano Brianza, Carate Brianza, Albiate, Triuggio, Sovico e Biassono). A tale insufficienza d'alveo generalizza, fa eccezione il tratto compreso tra la sezione LA108.1 e la sezione LA107 (tra Albiate e Triuggio) nel quale la portata duecentennale risulta essere compatibile con l'attuale assetto fluviale. Si sottolinea inoltre che l'intero tratto può essere ritenuto compatibile con portate avente tempo di ritorno pari a circa 50 anni. (...) Il tratto 2, compreso tra Villasanta e il ponte dell'autostrada A4, presenta un'insufficienza diffusa per tempi di ritorno pari a 200 anni. La portata compatibile con l'intero tratto risulta essere dell'ordine di $10 \div 20$ anni di tempo di ritorno, come peraltro dimostrato storicamente dalla cadenza delle ultime esondazioni che si sono verificate a Monza (1949, 1951, 1976, 2002). In particolare, si ha che il tratto che attraversa il centro urbano di Monza risulta essere compatibile con portate di circa $80 \div 90 \text{ m}^3/\text{s}$, a fronte di portate idrauliche con tempo di ritorno di 200 anni pari a circa $200 \div 210 \text{ m}^3/\text{s}$. Tale insufficienza è la causa dei frequenti e vasti allagamenti che interessano la città di Monza. Si segnala inoltre che i livelli di piena correlati alla precedente portata compatibile non rispettano comunque i franchi di sicurezza sui ponti. In altri termini con la portata di $100 \text{ m}^3/\text{s}$ numerosi manufatti in Monza presentano funzionamento in pressione."

Gli interventi progettuali previsti nel P.A.I. ricadono in sette tipologie:



1. opere di regolazione;
2. formazione di casse di espansione;
3. mantenimento delle aree di allagamento naturale che interessano zone golenali;
4. riduzione delle portate scaricate dalle reti di drenaggio urbano;
5. adeguamento dei manufatti di attraversamento che ostacolano il deflusso di piena e inducono allagamenti in zone non compatibili;
6. realizzazione di opere di protezione locale (arginature);
7. aumento della capacità idraulica dell'alveo attraverso opere locali (ricalibrature d'alveo, diversivi, ecc.).

Scendendo nel dettaglio gli interventi della tipologia 2 furono identificati nelle seguenti posizioni:

- a) Merone e Costa Masnaga sulla Bevera di Molteno;
- b) Briosco sulla Bevera di Renate;
- c) Molteno sul Gandaloglio;
- d) Inverigo sul fiume Lambro;

Ad oggi (2014) soltanto il primo lotto della cassa di laminazione di Merone sulla Bevera di Molteno è stato realizzato, lasciando di fatto invariato il surplus di volume rispetto a quello effettivamente compatibile con il Lambro, soprattutto quello proveniente dagli affluenti.

Tuttavia, la procedura autorizzativa relativa all'opera di Inverigo è quasi giunta al termine, ottenendo le autorizzazioni necessarie per la pubblicazione della gara d'appalto, mentre avendo completato le presenti attività di progettazione definitiva si potrà avviare la procedura autorizzativa anche per la cassa di laminazione di Costa Masnaga sulla Bevera di Molteno.

Si sottolinea che l'esecuzione delle prestazioni è stata condotta in modo partecipato, coinvolgendo i diversi attori attraverso incontri e sopralluoghi in sito.



2. RISPONDENZA ALLE FINALITÀ DEL PROGETTO PRELIMINARE

Il Progetto Preliminare è stato predisposto sulla scorta degli studi, della documentazione e dei dati già disponibili al fine di verificarne i contenuti, per definire compiutamente l'ambito in cui collocare le opere in progetto.

Sin dai primi decenni del secolo scorso il bacino del Lambro è stato interessato da numerosi studi e progetti di sistemazione fluviale sia a scala d'asta, sia localizzati. In particolare:

- Sistemazione del fiume Lambro proposta dal "Comitato Coordinatore per le Acque della Provincia di Milano" nel 1937;
- "Proposte per la sistemazione idraulica del Lambro e per il riassetto paesaggistico della sua valle", detto "Piano Lambro" – Provincia di Milano, 1986;
- Progetto esecutivo per i "Lavori di sistemazione delle opere idrauliche del Lambro Settentrionale nel tronco compreso tra il ponte dell'autostrada MI-BG ed il ponte di innesto alla tangenziale est di C.na Gobba nei comuni di Brugherio e Milano" del Magistrato per il Po di Parma – 1989 ÷ 1997.
- "Progetto Preliminare di sistemazione del fiume Lambro a monte di Villasanta" di competenza della Regione Lombardia, redatto dagli scriventi nel 1998;
- "Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico" redatto dall'Autorità di Bacino del fiume Po.

Già nel "*Progetto Preliminare di sistemazione del fiume Lambro a monte di Villasanta*" si inserisce la proposta di destinare la Cava di Brenno alla laminazione delle portate di piena della Bevera di Molteno, principale affluente sublacuale del fiume Lambro, in modo da ridurne consistentemente il contributo in caso di eventi idrologici intensi.

Come accennato in premessa, in seguito all'evento alluvionale occorso nel mese di Novembre 2002, gli Enti preposti hanno affidato un incarico per la predisposizione dello "*Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona*" che identificasse le criticità idrauliche esistenti lungo il corso d'acqua e, alla luce degli effetti generati dall'evento dell'autunno 2002, ne individuasse una compiuta soluzione. Anche questo studio ha confermato l'esigenza di utilizzare la Cava di Brenno quale vasca di laminazione.

In seguito, nel mese di Marzo 2004, è stata adottata la "*Variante al Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) Fasce fluviali del fiume Lambro nel tratto dal Lago di Pusiano alla confluenza con il deviatore Redefossi*" che sostanzialmente ha recepito e fatto propri gli esiti del citato Studio di Fattibilità. I principali interventi ricadenti nel tratto del fiume Lambro compreso tra il lago di Pusiano e Inverigo (CO), la cui esecuzione è stata



pianificata con la Variante e tra i quali sono compresi quelli oggetto della presente attività, sono descritti nel paragrafo §**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

Oltre a quanto elencato in precedenza, gli scriventi hanno anche potuto acquisire ed analizzare le informazioni desumibili da:

- Studio di fattibilità *"sull'utilizzo della Miniera di Brenno in Comune di Costa Masnaga (LC) quale vasca di laminazione"*, predisposto nel febbraio 2005 da ETATEC s.r.l.;
- Tesi di Laurea Magistrale dell'ing. Chiara Vellani redatta presso il Politecnico di Milano con il supporto del relatore prof. G. Becciu e inerente lo *"Studio del sistema delle aree di laminazione lungo il Lambro sublacuale ed affluenti finalizzata alla stesura del protocollo di gestione integrato per la difesa idraulica della valle e della città di Monza"*.

Inoltre è disponibile una serie di informazioni topografiche, riguardanti il tratto d'alveo e le aree perfluviali d'interesse.

Ciò che emerge dall'analisi della documentazione a disposizione è che l'idea di utilizzare il sito di Costa Masnaga per laminare le portate di piena della Bevera di Molteno risale a molti anni orsono e che nel periodo trascorso la soluzione progettuale si è evoluta attraverso numerosi scenari principalmente funzione delle passate condizioni di esercizio dell'attività estrattiva nella cava condotta dalla Holcim S.p.A.

Soltanto la scelta recente della multinazionale di dismettere l'impianto di Costa Masnaga, avviando le previste attività per il ripristino ambientale dei luoghi, ha creato le condizioni affinché la progettazione dell'intervento potesse contemplare la soluzione definitiva qui descritta, quale evoluzione e approfondimento delle scelte assunte in sede di Progetto Preliminare dai tecnici del Parco Regionale della Valle del Lambro.

Le opere previste dal progetto preliminare consistevano in:

- Opera di presa con sbarramento nell'alveo della Bevera di Molteno;
- Canale scolmatore non rivestito per il convogliamento delle portate dall'opera di presa al fondo cava;
- Stazione di pompaggio per la restituzione dei volumi idrici derivati alla Bevera di Molteno realizzata mediante costruzione di una torre in calcestruzzo armato.

La soluzione tecnica proposta consentiva già di per sé la regolazione ottimale delle portate di piena ed il taglio dei picchi, caratteristica essenziale ed inderogabile per conseguire gli obiettivi previsti nella pianificazione.

Il progetto definitivo, come meglio si dettaglierà in seguito, prevede invece le seguenti opere:

- Opera di presa dalla Bevera di Molteno senza sbarramento in alveo;
- Canale scolmatore rivestito per il convogliamento delle portate dall'opera di presa al fondo cava;
- Opera di restituzione dei volumi idrici derivati alla Bevera di Molteno realizzata mediante costruzione di un pontile galleggiante collegato con tubazioni flessibili alle opere di scarico.

Le principali modifiche e i conseguenti benefici che le soluzioni tecniche introdotte nel definitivo consentono di ottenere rispetto al preliminare sono:



- L'eliminazione dello sbarramento in alveo in corrispondenza dell'opera di presa riduce drasticamente l'impatto ambientale della stessa e consente risparmi economici;
- Il rivestimento del canale scolmatore consente di impedire rischiose infiltrazioni idriche e fenomeni erosivi che potrebbero determinare l'insorgenza di fenomeni di instabilità della rampa esistente per l'accesso al fondo cava;
- Il rivestimento del tratto più pendente del canale scolmatore ridurrà consistentemente le velocità di deflusso della corrente, dissipando in continuo parte della sua energia cinetica;
- Il tracciato del tratto finale del canale indirizzerà le portate derivate verso il centro della cava, evitando rischiosi fenomeni erosivi al piede della parete nord;
- La formazione di un lago permanente all'interno della cava con quota minima di regolazione fissata a 215 m s.l.m. e massima a 236 m s.l.m. permetterà di ridurre sia la prevalenza posseduta dalle pompe per lo svuotamento dell'invaso, sia l'estensione delle opere di consolidamento dei versanti con consistenti ed evidenti benefici economici e ambientali;
- L'opera di restituzione dei volumi idrici accumulati nella Cava di Brenno sarà flessibile e potrà facilmente adeguarsi ai diversi scenari futuri di riempimento della Cava con materiale di riporto;
- Essa sarà inoltre dotata di sole 3 pompe in luogo delle 32 originariamente previste con evidente riduzione dei costi di fornitura, installazione e futura manutenzione;
- Peraltro, non si rende necessaria la realizzazione della torre di pompaggio, più rigida e impattante della soluzione prevista.
- Infine, il modesto spostamento planimetrico dell'opera di restituzione consentirà di evitare il ricorso alla tecnica del microtunneling per consentire la posa della tubazione di scarico nell'alveo della Bevera di Molteno.

Si sottolinea che le proposte progettuali non modificano in alcun modo la morfologia attuale dei versanti della cava e pertanto restano valide le valutazioni sulla loro stabilità condotte in sede di preliminare, a meno degli ulteriori benefici legati alla riduzione dell'escursione attesa del livello del lago di cui si dirà più avanti.

In seguito alle modifiche introdotte in questa sede le finalità dello studio dell'Autorità di Bacino e quindi del progetto preliminare sono comunque pienamente soddisfatte.

I progettisti hanno anche nuovamente verificato la bontà della soluzione definitiva rispetto alle alternative emerse nel corso del tempo, in particolare:

- Ipotesi 0: mancata realizzazione delle opere
- Ipotesi 1: zona di esondazione esterna alla Cava di Brenno
- Ipotesi 2: realizzazione di interventi alternativi nei territori di altri comuni
- Ipotesi 3: realizzazione di una vasca di laminazione nella Cava di Brenno
- Ipotesi 4: riempimento della cava fino a quota 235 m s.l.m.



- Ipotesi 5: riempimento della cava con espansione dello scavo verso nord
- Ipotesi 6: riempimento di una parte della miniera fino a quota 240-250 m s.l.m. e utilizzo della sola zona est della miniera come vasca di laminazione
- Ipotesi 7: riempimento totale della cava con massi ciclopici
- Ipotesi 8: riprofilatura della parete sud e parziale riempimento della cava
- Ipotesi 9: impermeabilizzazione delle pareti e parziale riempimento della cava

oltre naturalmente alla soluzione proposta dal progetto preliminare tout court.

Dal confronto effettuato con quella definitivamente assunta, quest'ultima si è confermata la migliore sotto tutti i punti di vista, nella piena rispondenza dei limiti di spesa previsti, dei benefici attesi in termini di laminazione dei volumi di piena e di abbattimento dei picchi delle portate conseguendo al contempo un minore impatto sull'ambiente rispetto alla soluzione inizialmente prospettata dal progetto preliminare.



3. SINTESI DEGLI ASPETTI TECNICI E DELLE RELAZIONI SPECIALISTICHE

Le indagini e gli studi specialistici svolti a questo livello di progettazione hanno consentito di approfondire il quadro delle conoscenze disponibili al momento della progettazione preliminare.

Sono state effettuate indagini topografiche integrative e sono state elaborate modellazioni numeriche e specifiche verifiche per la simulazione del comportamento idraulico e strutturale del bacino, dell'opera di presa, del canale scolmatore e dell'opera di restituzione.

Le nuove indagini topografiche ed il loro confronto ed accoppiamento con il recente DTM hanno consentito di confermare in linea di massima la funzionalità dell'idea progettuale adottata in sede preliminare.

Rinviano agli specifici elaborati per una trattazione di maggior dettaglio, nei seguenti paragrafi si sintetizzano i principali aspetti tecnici emergenti dalle attività specialistiche.

3.1 ASPETTI IDROLOGICI E IDRAULICI

Nell'ambito della progettazione delle *"Opere di regolazione delle portate previste nell'intervento 'Area di laminazione di Inverigo'"*, anch'essa condotta dagli Scriventi, la Regione Lombardia aveva espresso alcune osservazioni con una specifica nota scritta. Una di esse era relativa alla richiesta l'esecuzione di un *"aggiornamento delle informazioni idrologiche e idrauliche dello 'Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Lambro'"*.

Intenzione dell'Ente era quella di verificare se gli eventi idrologici occorsi nel periodo successivo alla predisposizione di detto studio potessero aver modificato le assunzioni poste alla base dello stesso.

Considerando che l'area oggetto della presente attività si colloca nella stessa zona, si ritiene utile riportare nuovamente le conclusioni della verifica a suo tempo condotta per le opere di Inverigo.

Infatti, così come descritto nella relazione idrologico-idraulica, è stato possibile confermare la validità delle portate definite dallo Studio di Fattibilità in quanto gli eventi successivi, seppur non compresi nell'analisi statistica dello stesso, sono di entità inferiore e con caratteristiche molto differenti e meno gravose rispetto all'evento critico del 2002, preso come evento di riferimento nello studio stesso.

Come già accennato in precedenza, le opere idrauliche previste dal progetto consistono in:

- Opera di presa dalla Bevera di Molteno;
- Canale scolmatore rivestito per il convogliamento delle portate dall'opera di presa al fondo cava;
- Opera di restituzione alla Bevera di Molteno dei volumi idrici derivati realizzata mediante costruzione di un pontile galleggiante collegato con tubazioni flessibili alle opere di scarico.

Si è dunque confermata l'idea originaria di utilizzare la cava di Brenno quale cassa di laminazione mediante realizzazione di un'opera di presa sulla sponda sinistra della Bevera di Molteno in prossimità dell'ingresso del Parco Comunale di Brenno. La derivazione sarà attivata in caso di eventi di piena della Bevera il cui colmo

superi il massimo valore di portata compatibile con le condizioni idrauliche di valle ($22 \text{ m}^3/\text{s}$) e avverrà per mezzo di quattro luci sottobattente servite da paratoie a tenuta su quattro lati.

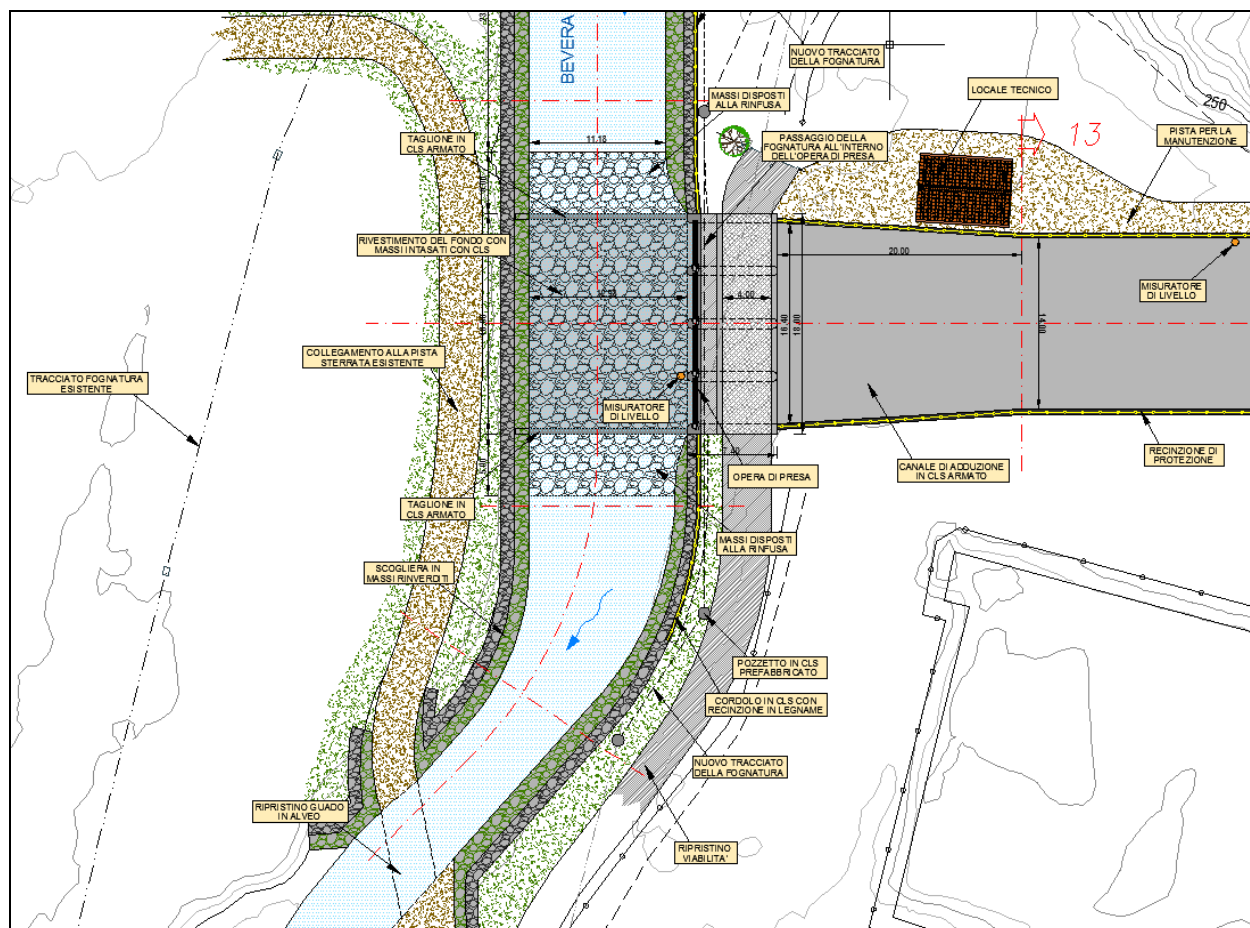


Figura 1 – Stralcio planimetrico progettuale dell'opera di presa

Il flusso sarà indirizzato ad un canale scolmatore che presenterà due tratti ben distinti per caratteristiche geometriche, il primo dei quali avrà pendenza ridotta, una sezione più ampia e sarà raccordato con il secondo tratto da realizzare sul sedime dell'attuale pista di accesso al fondo della cava.

Quest'ultima è caratterizzata da pendenze molto elevate e, pertanto, a fronte della possibile riduzione della sezione del canale grazie all'atteso incremento delle velocità di deflusso della corrente, si renderà necessario limitare queste ultime incrementando la scabrezza del fondo scorrevole con massi disposti alla rinfusa e cementati. Il rivestimento del canale, non previsto in sede di progetto preliminare, eviterà anche l'instaurarsi di rischiose infiltrazioni idriche e consistenti fenomeni erosivi per azione della corrente.

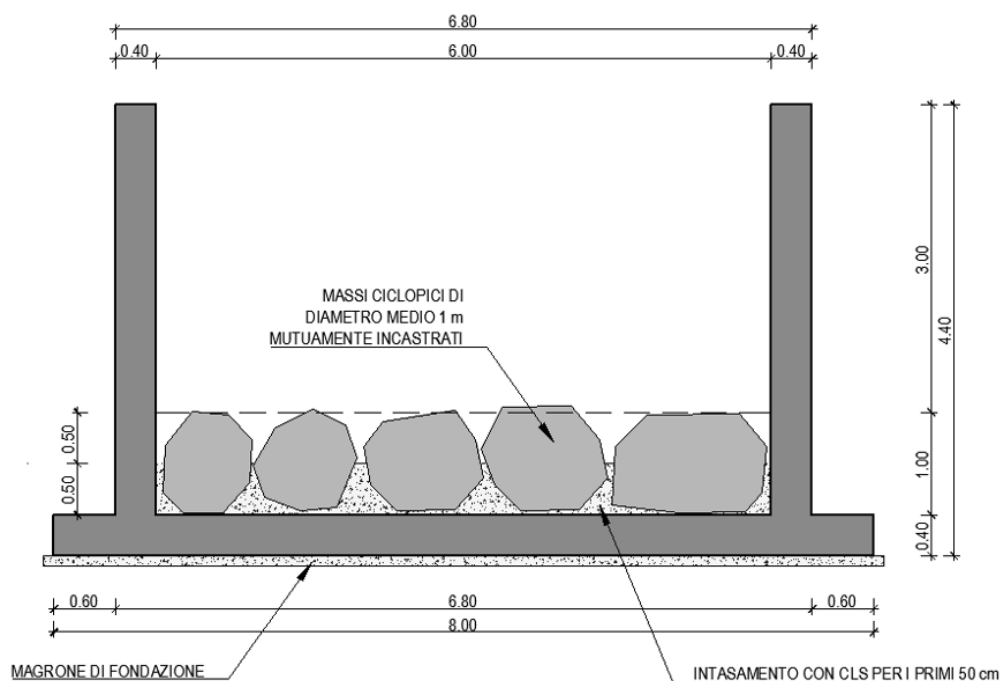


Figura 2 – Sezione tipo del canale scolmatore nel tratto a forte pendenza

All'interno della cava si è scelto di mantenere un lago permanente il cui **livello minimo si attesterà su 215 m s.l.m. mentre il livello massimo di regolazione non potrà superare i 236 m s.l.m.**

Per questa ragione è stato studiato un sistema di svuotamento avente una doppia finalità:

- allontanare le acque piovane e quelle invase per ruscellamento superficiale e/o per venute dai versanti della cava;
- svuotare la cava con sufficiente rapidità al fine di ripristinare l'originario volume d'invaso (1'060'000 m³) che si ridurrà in occasione di eventi idrologici intensi grazie all'attivazione dell'opera di presa.

Il primo scopo sarà raggiunto grazie all'installazione di una pompa a galleggiante in grado di attivarsi in continuo non appena il sensore rileverà un incremento del livello minimo del lago, ossia una quota del pelo libero superiore a 215 m s.l.m.

Il secondo obiettivo sarà conseguito mediante installazione di una coppia di pompe, ciascuna equipaggiata con modulo di galleggiamento e in grado di assicurare una portata in mandata variabile tra 55 l/s (quota di presa 215 m s.l.m.) e 80 l/s (236 m s.l.m.), ossia tra 110 e 160 l/s per entrambe.

Le pompe saranno ancorate ad un pontile galleggiante e connesse ad una coppia di condotte che addurranno la portata ad una vasca collocata nei pressi del ciglio di monte della scarpata nord-est della cava di Brenno. Da questa le acque defluiranno a pelo libero nuovamente nella Bevera di Molteno grazie ad una condotta interrata il cui sbocco sarà presidiato da una valvola antiriflusso del tipo a "clapet".

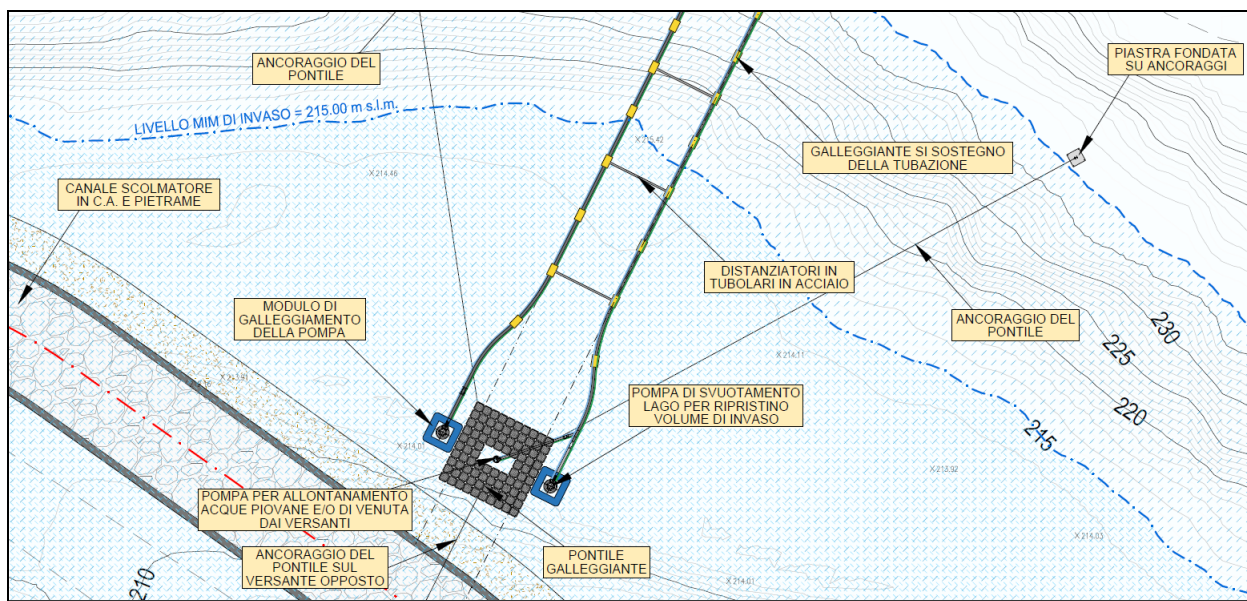


Figura 3 – Stralcio planimetrico del pontile galleggiante al quale saranno ancorate le pompe

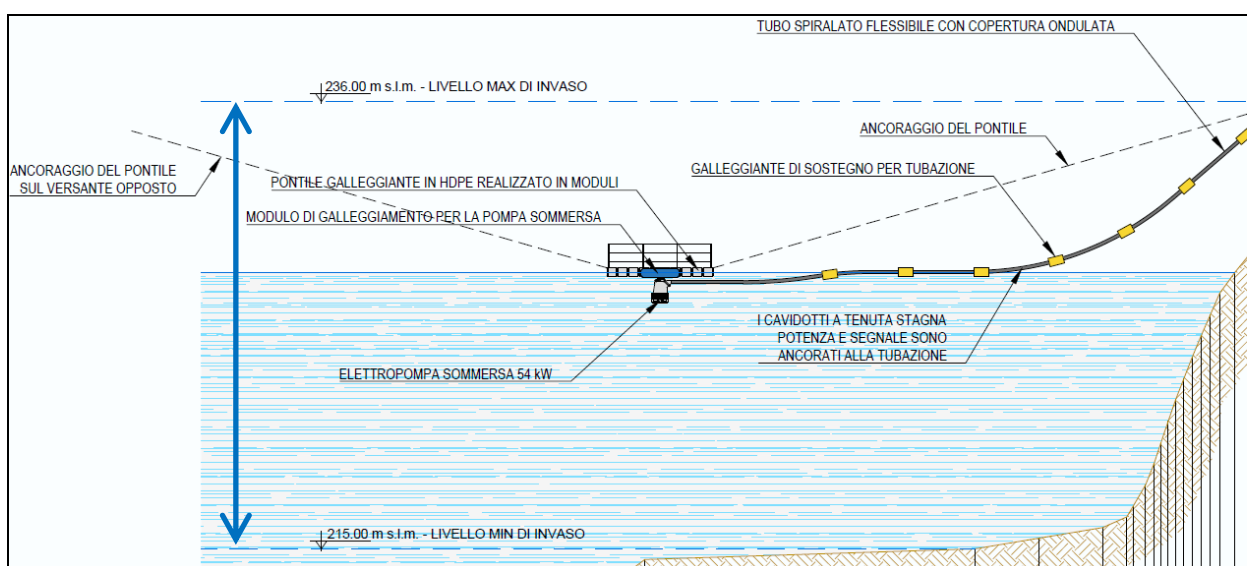


Figura 4 – Stralcio del profilo del pontile galleggiante al quale saranno ancorate le pompe. I cavidotti a tenuta stagna per i cavi di potenza e di segnale saranno ancorati alle condotte di mandata (la freccia indica l'ampiezza d'oscillazione del livello d'invaso)

Come già detto, si sottolinea ancora una volta come la principale differenza tra le soluzioni progettuali identificate in sede di Progetto Preliminare e quelle del presente Definitivo risieda proprio nell'opera di svuotamento. Infatti, non sarà più realizzata la torre di sollevamento in calcestruzzo armato, molto più rigida e impattante, ma al suo posto si costruirà il sistema flessibile galleggiante di cui sopra.



Le simulazioni numeriche idrauliche hanno consentito di stabilire con un ragionevole grado di certezza l'entità dei benefici attesi con la realizzazione degli interventi in progetto, soprattutto in riferimento agli effetti benefici di laminazione dovuti alla realizzazione della citata opera di presa: è stata calcolata un'efficienza di laminazione del colmo di piena di oltre il 60%, (da 59 a 22 m³/s), così come stabilito nella pianificazione vigente.

3.2 ASPETTI GEOLOGICI E GEOTECNICI

Gli approfondimenti geologici e geotecnici svolti hanno avuto come scopo principale quello di evidenziare le eventuali criticità di natura geotecnica concernenti le scarpate della cava di Brenno nel caso in cui sia utilizzata come vasca di laminazione per il torrente Bevera.

Innanzitutto i progettisti hanno evinto dall'analisi dei documenti che, nonostante già più di trent'anni fa si prevedesse di realizzare in fase di ripristino ambientale all'interno della cava un vaso artificiale, la problematica della stabilità delle scarpate in tali condizioni non sia mai stato affrontato se non in modo molto preliminare e marginale.

Al fine di colmare tale lacuna, gli scriventi si sono innanzitutto chiesti se la variazione del contenuto d'acqua potesse influenzare le caratteristiche meccaniche della marna che costituisce il giacimento. Data la natura del materiale un'influenza del contenuto d'acqua era infatti prevedibile.

La microstruttura del materiale, caratterizzato dalla successione di piani di sedimentazione aventi caratteristiche mineralogiche differenti, ha suggerito di interpretare schematicamente la risposta del sistema come la successione di piani più resistenti e fondamentalmente insensibili all'azione dell'acqua e piani a matrice argillosa (argillitica) più sensibili al processo di imbibizione.

Tale ipotesi, concernente il comportamento meccanico alla meso-scala, ha giustificato l'attenzione riposta nella descrizione della giacitura dei piani di stratificazione in relazione ai piani delle scarpate della cava. A tal proposito ci si è resi conto che essenzialmente tre sono a grandi linee le geometrie che si presentano allo stato attuale:

- i. pareti sub-verticali e piani di stratificazione a reggipoggio (lato della cava con pareti di normale diretta a sud (nel seguito "Zona A"). In questo caso, il meccanismo di rottura più probabile è quello flessionale.
- ii. pareti sub-verticali e piani di stratificazione a franapoggio (lato della cava con pareti di normale diretta a nord (nel seguito "Zona B"). In questo caso, data l'inclinazione elevata dei piani di stratificazione, la rottura per taglio è esclusa mentre il meccanismo di rottura più probabile è quello di instabilità euleriana.
- iii. pareti sub-verticali e piani di stratificazione con normale ortogonale alla parete stessa (nel seguito "Zona C"). In questo caso è escluso ogni processo di rottura coinvolgente i piani di debolezza e quindi in questa zona l'inclinazione delle scarpate potrebbe essere mantenuta inalterata.



Per ciò che concerne essenzialmente le Zone A e B è allora possibile prevedere, nel caso si decidesse di utilizzare la cava come vasca di laminazione senza modificare la geometria delle sponde, un processo evolutivo di degrado di natura idro-meccanica siffatto.

Fase 1. Processo di imbibizione idraulicamente anisotropo caratterizzato da una direzione preferenziale di avanzamento parallela ai piani di stratificazione. Il processo si innescherà al piede, e cioè nella zona del fronte permanentemente satura, per poi propagarsi verso l'alto per capillarità. È possibile anche osservare che molto probabilmente, proprio per l'attesa anisotropia idraulica del materiale, più rapidamente l'evoluzione avverrà nella Zona C e ove i piani sono posti a franapoggio (Zona B) mentre più lentamente ove i piani sono a reggipoggio (Zona A).

Fase 2. Questa fase consiste nel processo di degradazione delle caratteristiche meccaniche dei piani di debolezza (messo in evidenza dai risultati sperimentali di laboratorio). Tale fase è qui citata per ragioni di chiarezza separatamente rispetto alla Fase 1, ma nella realtà essa avrà luogo contemporaneamente. È proprio tale processo che potenzialmente porta all'innescare di eventuali processi di rottura delle pareti secondo i meccanismi già citati.

Il processo degradativo atteso potrebbe avere luogo molto lentamente e con tempi dettati principalmente dall'eventuale eterogeneità delle proprietà idro-meccaniche del materiale. Quanto appena descritto ci induce a raccomandare, per la sicurezza delle sponde, di ridurre drasticamente l'inclinazione delle sponde rispetto a quella attuale fino ad un'inclinazione media indicativa non superiore ai 35°~ 40°. Inoltre, dato che il processo di degradazione tenderà ad essere più accentuato al piede, che verrà a contatto con l'acqua del serbatoio o che, ancora più dannosamente, subirà l'escursione del livello dell'acqua, l'inclinazione della scarpata sarà preferibilmente inferiore al piede e maggiore in sommità.

A seconda della necessità, si consiglia inoltre di prevedere una riprofilatura delle scarpate secondo quanto appena raccomandato riportando parte del materiale cavato in sommità al piede della scarpata (così come schematicamente definito in Figura 30). Nella Figura citata la linea a tratto continuo si riferisce ad un ipotetico profilo attuale, la linea tratteggiata orizzontale ad un ipotetico riempimento di base, la linea puntinata ad un'inclinazione media della scarpata mentre la linea marrone ad un profilo del materiale di riporto.

Da un punto di vista puramente geometrico si osserva allora quanto segue:

- a. l'innalzamento del fondo della vasca, a parità di inclinazione media del fronte, permette di ridurre drasticamente l'arretramento della sommità della scarpata. Infatti, nonostante la deformabilità del terreno di riporto e la possibilità che questo si rompa in condizioni di spinta passiva, in prima approssimazione si può affermare che il tratto del fronte vincolato orizzontalmente dal deposito può essere considerato stabile.
- b. Una seconda variabile in gioco è il parametro t riportato in Figura 5. Si consiglia, per quanto possibile, di ridurre al minimo t così da diminuire effettivamente l'inclinazione della scarpata in roccia.



- c. L'inclinazione della parte di scarpata che a regime (cioè a vasca di laminazione funzionante), si troverà sotto il livello dell'acqua massimo del serbatoio ($H_w + DH_w$), sarà preferibile caratterizzato da una pendenza molto inferiore e cioè non superiore ai 20° .
- d. Si consiglia in ogni caso in fase di progetto di effettuare delle analisi numeriche come quelle schematicamente svolte all'interno di questa relazione per definire sia nella zona A che nella zona B il profilo definitivo delle scarpate.

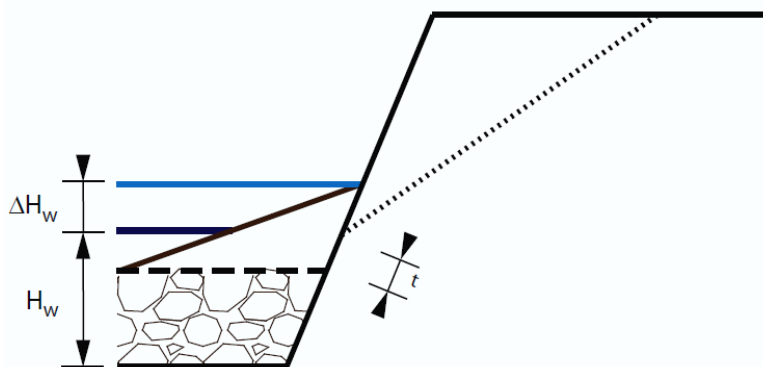


Figura 5 – Definizione schematica dei parametri di progetto in gioco.

Quanto sopra sintetizzato era già stato prodotto in sede di Progetto Preliminare dal prof. ing. Claudio Di Prisco, Ordinario di Geotecnica al Politecnico di Milano. Rinvio alla specifica relazione per una trattazione più approfondita delle problematiche esistenti e delle soluzioni prospettate e sottolineando che le opere in progetto non determinano modifiche della geometria attuale dei versanti, in questa sede si ritiene utile riportare le ulteriori valutazioni del docente sulle modifiche progettuali intervenute con il presente Progetto Definitivo rispetto alla configurazione preliminare delle opere, con particolare riferimento alla soluzione di mantenere un lago permanente all'interno della Cava di Brenno avente quota minima di regolazione a 215 m s.l.m. e massima a 236 m s.l.m.

In data 2 dicembre 2014 il consulente trasmette una nota all'attenzione dell'ing. Daniele Giuffré, tecnico del Parco Regionale della Valle del Lambro, nella quale è scritto:

"Premesso che:

- *l'impermeabilizzazione in oggetto è stata progettata per inibire la progressiva alterazione delle marne all'interno delle quali è scavato l'invaso,*
- *tale alterazione può essere indotta da cicli di saturazione e desaturazione di tali materiali,*
- *l'impermeabilizzazione è finalizzata a ridurre al minimo la probabilità di dover reintervenire successivamente con interventi di stabilizzazione locale dei versanti,*

lo scrivente consiglia di ridurre drasticamente, rispetto al progetto preliminare, l'estensione dell'area di intervento. Infatti, l'escursione attesa del livello dell'acqua nell'invaso, nel caso che questo funga da vasca di



laminazione, varierà poco nel tempo ma il livello massimo varierà considerevolmente con il grado di riempimento del fondo dell'invaso mediante materiali di risulta. In questa fase transitoria, fase durante la quale il fondo della vasca si innalzerà progressivamente, si consiglia di non impermeabilizzare le scarpate e di tenerle attentamente monitorate. Non ci si attende infatti che la propagazione del danno sia rapida e che possa coinvolgere masse di terreno rilevanti.

L'impermeabilizzazione dovrà quindi interessare (sia essa eseguita con spritz-beton o con, se possibile, tecniche meno invasive) soltanto l'area che nella configurazione definitiva sarà interessata, così come da progetto, dall'escursione del livello dell'acqua all'interno dell'invaso.

Quanto consigliato, avendo come unico scopo un risparmio ingente di risorse economiche per la collettività, richiederà unicamente attenzione nella gestione del cantiere nel periodo di transitorio suddetto".

Tra l'altro, si rammenta quanto già scritto in precedenza, ossia che il volume attualmente disponibile compreso tra la quota di massima (236 m s.l.m.) e minima regolazione dell'invaso (215 m s.l.m.) ammonta a circa 1'720'000 m³, il riempimento del fondo cava con materiale di risulta potrà dunque avvenire anche oltre la quota di minimo vaso per ulteriori 1'720'000 – 1'060'000 = 660'000 m³ senza per questo inficiare la capacità di vaso utile per la laminazione delle portate di piena della Bevera di Molteno.

3.3 ASPETTI STRUTTURALI

Dal punto di vista strutturale gli elementi oggetto di approfondimenti specifici sono il manufatto di presa con un sistema di n.4 paratoie metalliche, l'associato nuovo ponte in c.a. e il canale scolmatore in c.a.

L'impalcato del ponte verrà realizzato con una soletta in c.a. gettata in opera, sostenuta da spalle terminali e pile intermedie in c.a. gettate in opera (4 campate). La fondazione sarà di tipo diretto costituita da una platea in c.a. Alle spalle ed alle pile intermedie saranno vincolate le paratoie meccanizzate costituite da profili in acciaio.

Il canale in c.a. per il convogliamento delle acque verrà realizzato con dei muri di contenimento ad altezza variabile e piattabanda di fondazione di collegamento tra le due pareti in c.a. gettati in opera.

Il ponte in oggetto, che è parte integrante dell'opera di presa, è caratterizzato da una carreggiata complessiva di 5,0 m in cui trova sede una unica corsia di marcia di larghezza 4,0 m e 2 cordoli in c.a. di 50 cm come sede per il sicurvia. La sezione è completata, dal lato torrente Bevera, da un marciapiede pedonale di larghezza pari a 1,3 m e da un parapetto in c.a. dello spessore di cm 30.

La soletta in c.a. ordinario, di spessore costante pari a 35 cm, ha pendenza trasversale nulla.

La strada è resa percorribile da carichi di prima categoria Q_{1k} , posti in una corsia teorica larga 3,00 m, coerentemente con le prescrizioni di cui al D.M. 14/01/2008.

Le sottostrutture del manufatto sono costituite da 2 spalle e 3 pile centrali sismo-resistenti in c.a. ordinario. Le spalle e le pile hanno uno spessore di 80 cm.



Le spalle e le pile intermedie sono collegate tramite una platea di fondazione di dimensioni 7,40 x 18,00 m e spessore variabile. La sezione trasversale risulta variabile linearmente da 60 a 54 cm in quanto costituisce il fondo del canale di presa.

Le verifiche statiche sono svolte con riferimento al metodo degli stati limite. La tipologia strutturale dell'impalcato in oggetto, trave su più appoggi su sottostruttura scatolare.

Per la progettazione dei manufatti è stata rispettata la normativa vigente ed in particolare:

1. D.M. 14/01/2008 – Nuove norme tecniche per le costruzioni.
2. Circ. Min. 02/02/2009 – Applicazione norme tecniche per le costruzioni.

Le paratoie metalliche saranno costituite da 4 telai di travi in acciaio che andranno a posizionarsi tra le campate del ponte. Il telaio avrà una geometria di 3,90 x 2,10 m formata da un corrente superiore ed uno inferiore HEB 220 e da profili intermedi di irrigidimento IPE 220. Completano la struttura una lamiera in acciaio ancorata alla struttura portante.

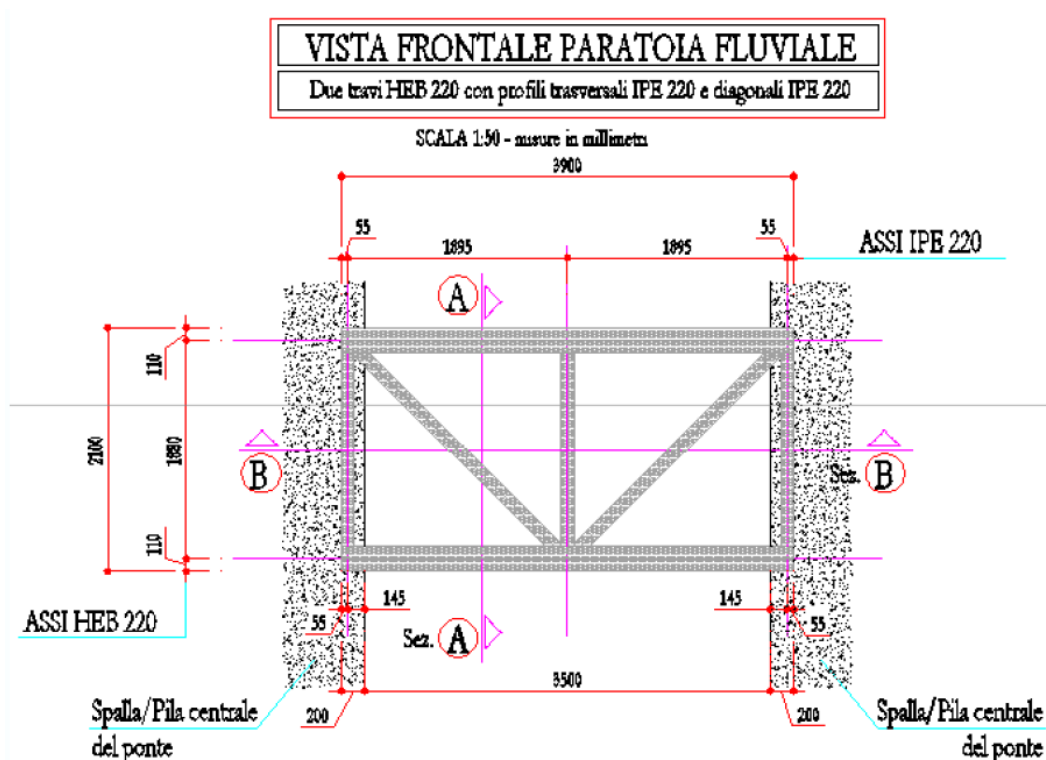


Figura 6 – Vista frontale della struttura della paratoia

Il canale di convogliamento sarà un manufatto costituito da due pareti in c.a. dello spessore di 40 cm ed altezza costante pari a 3,76 m nel tratto a debole pendenza e 3,00 m nel tratto a maggior pendenza. Le pareti verranno collegate tramite una piattabanda di fondazione di altezza pari a 40 cm e larghezza variabile in



funzione della sezione del canale in progetto. Le sollecitazioni e le verifiche delle sole pareti ai fini flessionali sono state considerate come mensole incastrate alla soletta di fondo alveo. La conformazione del canale, le quote altimetriche del terreno ai bordi dello stesso e le caratteristiche geologiche e geotecniche del terreno consentono di tralasciare le verifiche a ribaltamento, slittamento e schiacciamento. In tutti i casi la situazione più gravosa ai fini flessionali della parete avviene nella combinazione statica.



4. IMPATTI ATTESI E COMPENSAZIONI PREVISTE

4.1 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI

In considerazione di quanto descritto nello specifico Studio Ambientale Preliminare, è possibile concludere che la realizzazione delle opere determinerà un impatto che sulla maggior parte delle componenti ambientali interessate risulterà trascurabile o comunque di bassa entità.

Si riportano di seguito, sia per la fase di cantierizzazione, sia la fase di esercizio (*post-operam*), gli unici casi in cui si potrà manifestare un impatto negativo valutato di media entità.

Per quanto riguarda la fase di cantierizzazione gli impatti principali riguarderanno:

- la produzione e diffusione di polveri provocata sia dalla movimentazione dei materiali terrosi per la formazione dei manufatti sia dal transito degli automezzi su tratti di strada non asfaltata prevalentemente riconducibile al traffico indotto per il trasporto dei suddetti materiali terrosi (componente ambientale interessata: atmosfera);
- la sottrazione di minima quantità di materiale vegetale vivo ed eventuali danni provocati alla vegetazione e alla flora durante le operazioni di cantiere (componente ambientale interessata: vegetazione e flora);
- disturbi diretti e indiretti alla fauna, specialmente a micromammiferi, invertebrati, anfibi ed erpetofauna determinati dalle operazioni di cantiere, occupazioni temporanee di suoli e compromissioni di habitat specifici (componente ambientale interessata: fauna)
- la produzione di emissioni acustiche e vibrazioni da parte sia dei mezzi in opera impiegati per la realizzazione delle opere sia degli automezzi impiegati per il trasporto dei materiali inerti necessari (componenti ambientali interessate: rumore, vibrazioni);
- l'alterazione del contesto paesaggistico locale provocato dalla presenza del cantiere che introduce elementi nuovi estranei al paesaggio quali i cumuli di stoccaggio, le piste di cantiere non asfaltate, ed altre infrastrutture di servizio al cantiere (componente ambientale interessata: paesaggio);

Tali impatti sono caratterizzabili come sicuri, negativi di media entità ma di tipo temporaneo ovvero limitati alla sola fase di cantiere e quindi reversibili.

Per quanto riguarda gli impatti ad opera ultimata, ovvero in fase di esercizio, i principali effetti, tutti di minima entità, consisteranno sostanzialmente nella minima modifica della morfologia esistente connessa alla realizzazione dei manufatti (componente ambientale interessata: suolo).

Tali impatti sono caratterizzabili come sicuri, negativi di media entità e di tipo permanente (l'opera è destinata a perdurare nel tempo).



4.2 COMPENSAZIONI PREVISTE

L'intervento di ripristino seguirà immediatamente alla realizzazione delle opere previste progettualmente e consisterà essenzialmente di tre fasi principali:

- ripristino morfologico delle escavazioni effettuate per la realizzazione di manufatti interrati;
- preparazione dell'area per la semina e la successiva messa a dimora delle specie arboree e arbustive;
- semina e messa a dimora delle specie arboree e arbustive.

La realizzazione di macchie arboreo-arbustive saranno approntate nella zona dell'opera di presa in posizione più alta rispetto al livello di magra della Bevera di Molteno. Il significato di questa formazione alligna nella volontà di recuperare almeno parzialmente specie tipiche dei boschi della zona. Le macchie boscate così costituite risulteranno prodromiche allo sviluppo e alla perpetuazione di ambienti forestali ad elevato grado di naturalità.

Il sesto d'impianto volutamente irregolare e la consociazione tra specie tipiche di bosco e quelle del mantello arbustivo concorreranno sia a limitare l'artificialità sia a garantire la più alta biodiversità.

In particolare saranno realizzate file parallele con andamento sinusoidale che riducono l'artificialità; il sesto completo sarà di tipo non lineare come indicato nella figura sottostante, tendente a formare macchie seriali. Le specie arboree potenzialmente impiegabili sono:

- Olmo minore (*Ulmus minor*)
- Carpino bianco (*Carpinus betulus*)
- Acero campestre (*Acer campestre*)
- Rovere (*Quercus petraea*)
- Frassino (*Fraxinus excelsior*)
- Ciliegio (*Prunus avium*)
- Tiglio selvatico (*Tilia cordata miller*)

Lo strato arbustivo, a solo titolo indicativo, può comprendere:

- Nocciolo (*Corylus avellana*)
- Biancospino (*Crataegus monogyna*)
- Sanguinello (*Cornus sanguinea*)
- Corniolo (*Cornus mas*)
- Fusaggine (*Euonymus europaeus*)
- Pallon di maggio (*Viburnum opulus*)
- Sambuco (*Sambucus nigra*)

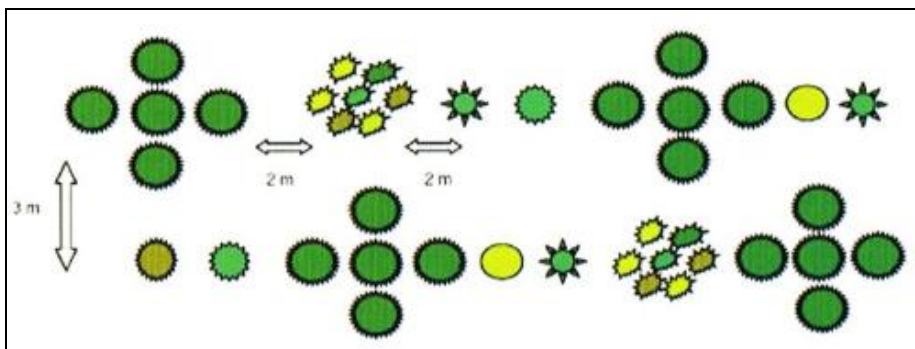


Figura 7 – Esempio di sesto d'impianto per macchia arboreo arbustiva

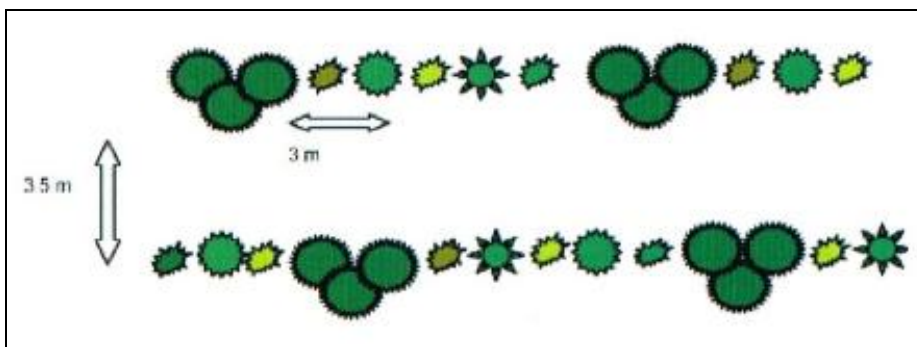


Figura 8 – Esempio di sesto d'impianto per macchia arboreo arbustiva più rada in quanto più prossima all'acqua

Per quanto attiene alla realizzazione di una fascia di arbusteto a salici e ontani l'obiettivo è quello di creare le condizioni per lo sviluppo di un'elevata biodiversità perifluviale.

L'unica pianta arborea che sarà collocata a dimora in questa fascia sarà l'ontano nero (*Alnus glutinosa*), in quanto le sue peculiari caratteristiche di sviluppo radicale (verticale non come pioppi e salici che prediligono lo sviluppo radicale orizzontale) lo rendono idoneo a svilupparsi in prossimità dell'acqua senza creare quei problemi tipici delle piante di grande sviluppo, basti solo pensare allo sviluppo della chioma fatto di rami sottili e mai con branche dilatate e patenti.

Il bosco di ontano nero, detto anche ontaneta, è spesso contiguo al bosco di quercia e carpino bianco in quanto predilige aree particolarmente ricche di acqua. In quest'ambiente l'apporto di ossigeno e azoto è estremamente basso e l'ontano ovvia all'inconveniente grazie a particolari batteri simbiotici, detti azotofissatori, che risiedono a contatto con le sue radici. Essi non solo riforniscono l'ontano di questo prezioso elemento, ma arricchiscono l'intero suolo.

Nell'ontaneta si trovano spesso altre specie, sempre legate alla disponibilità d'acqua, quali il frassino, il platano, il salicene, il pioppo, ma anche il salice bianco (*Salix alba*), il salice cinereo (*Salix cinerea*). Nel sottobosco prospera il rovo bluastro (*Rubus caesius*), e alcune specie di carici.



Lungo i pochi tratti di scogliera artificiale verranno poste a dimora talee di salice. La fornitura e la messa a dimora di talee legnose di specie arbustive idonee a questa modalità di trapianto vegetativo vanno prelevate dal selvatico di due o più anni di età, di \varnothing da 2 a 5 cm e lunghezza minima di 50 cm. Vanno messe a dimora nel verso di crescita previo taglio a punta e con disposizione perpendicolare o leggermente inclinata rispetto al piano di scarpata. Le talee vanno infisse a mazza di legno o con copritesta in legno, previa eventuale apertura di un foro con punta di ferro, e sporgente al massimo per un quarto della loro lunghezza e comunque non più di 10-15 cm, adottando, nel caso, un taglio netto di potatura dopo l'infissione.

La densità di impianto dovrà essere di $2 \div 10$ talee per m^2 a seconda delle necessità di consolidamento. Le talee dovranno essere prelevate, trasportate e stoccate in modo da conservare le proprietà vegetative adottando i provvedimenti cautelativi in funzione delle condizioni climatiche e dei tempi di cantiere.

4.3 MONITORAGGIO POST-OPERAM

Il monitoraggio dovrà valutare l'attuazione delle misure di mitigazione individuate, stabilendo se le indicazioni date siano state applicate nel modo corretto e con i risultati sperati. Per le attività di piantumazione si dovrà valutare il corretto posizionamento delle nuove piante e una volta conclusi i lavori controllarne l'attecchimento (cfr. sezione 8 dello studio ambientale per gli indirizzi generali).

In questo modo si riuscirà ad ottimizzare tutti i processi realizzativi minimizzando gli impatti valutati.



5. INDICAZIONI PER LA PROGETTAZIONE ESECUTIVA

Il progetto esecutivo dovrà prevedere un approfondimento di tutti gli aspetti e le problematiche che potranno incontrarsi nella cantierizzazione delle opere. In particolare dovranno essere dettagliati:

- Gli impianti elettromeccanici necessari per la derivazione e restituzione dei volumi idrici alla Bevera di Molteno;
- I particolari costruttivi degli edifici tecnici, dell'opera di presa e della restituzione con particolare riferimento, in quest'ultimo caso, agli ancoraggi del pontile galleggiante e delle tubazioni di mandata;
- Le eventuali ulteriori interferenze con i servizi sotterranei ed aerei, oltre a quelle già identificate e risolte in questa sede;
- Le modalità di manutenzione e gestione delle opere.

In definitiva ai sensi dell'art. 33 del DPR 207/2010 il progetto esecutivo dovrà contenere i seguenti elaborati:

- a) relazione generale;
- b) relazioni specialistiche;
- c) elaborati grafici comprensivi anche di quelli delle strutture, degli impianti e di ripristino e miglioramento ambientale;
- d) calcoli esecutivi delle strutture e degli impianti;
- e) piano di manutenzione dell'opera e delle sue parti;
- f) piano di sicurezza e di coordinamento di cui all'articolo 100 del decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81, e quadro di incidenza della manodopera;
- g) computo metrico estimativo e quadro economico;
- h) cronoprogramma;
- i) elenco dei prezzi unitari e eventuali analisi;
- j) schema di contratto e capitolato speciale di appalto;
- k) piano particellare di esproprio.

Ai sensi dell'art. 36 gli elaborati grafici esecutivi, eseguiti con i procedimenti più idonei, sono costituiti, salva diversa motivata determinazione del responsabile del procedimento:

- a) dagli elaborati che sviluppano nelle scale ammesse o prescritte, tutti gli elaborati grafici del progetto definitivo;
- b) dagli elaborati che risultino necessari all'esecuzione delle opere o dei lavori sulla base degli esiti, degli studi e di indagini eseguite in sede di progettazione esecutiva;
- c) dagli elaborati di tutti i particolari costruttivi;



- d) dagli elaborati atti ad illustrare le modalità esecutive di dettaglio;
- e) dagli elaborati di tutte le lavorazioni che risultano necessarie per il rispetto delle prescrizioni disposte dagli organismi competenti in sede di approvazione dei progetti preliminari, definitivi o di approvazione di specifici aspetti dei progetti;
- f) dagli elaborati di tutti i lavori da eseguire per soddisfare le esigenze di cui all'articolo 15, comma 9;
- g) dagli elaborati atti a definire le caratteristiche dimensionali, prestazionali e di assemblaggio dei componenti prefabbricati;
- h) dagli elaborati che definiscono le fasi costruttive assunte per le strutture.