

Via P. F. Calvi, 9 - 25123 Brescia - ITALIA  
Tel. +39-030-3702371 - Fax +39-030-396143 - info@studiofrosio.it  
Codice fiscale e Partita IVA 01690560170 - www.studiofrosio.it

**STUDIO FROSIO**  
STUDIO ASSOCIATO DI INGEGNERIA



*VIS S.r.l.*

*Comune di CASTELNUOVO BOCCA D'ADDA*

*Provincia di LODI*

## **IMPIANTO IDROELETTRICO "BUDRIESSE"**

### **Valutazione di Impatto Ambientale**

### **PROGETTO DEFINITIVO**

*Descrizione delle attività di cantiere*

Progettista generale: *dott. ing. Nino Frosio*



## INDICE

1	PREMESSE	3
2	PROGRAMMA CRONOLOGICO DEI LAVORI	3
3	ANALISI DELLE FASI ESECUTIVE	5
3.1	FASI DI LAVORO	5
3.2	PROSPEZIONI GEOLOGICHE	7
3.3	TAGLIO DI VEGETAZIONE ESISTENTE	7
3.4	INSEDIAMENTI DI CANTIERE	8
3.5	SITI DI ACCUMULO E STOCCAGGIO	9
3.6	STRADE PER IL CANTIERE E PISTE PROVVISORIALI	10
3.7	INTERFERENZA SULLA VIABILITÀ ESISTENTE	10
3.8	MONTAGGI	10
3.9	MEZZI DI CANTIERE	11
3.10	MISURE DI MITIGAZIONE IN FASE DI CANTIERE	11
3.11	QUANTIFICAZIONE DI SCAVI E RINTERRI	12
3.12	QUANTIFICAZIONE DEI MOVIMENTI DI TERRENO E MATERIALI	14
4	OPERE PROVVISORIALI PREVISTE	16
4.1	TURE PROVVISORIE IN ALVEO	16
4.2	OPERE SPECIALI DI FONDAZIONE E SOSTEGNO DEGLI SCAVI	16
5	VERIFICA DELLE TURE	18
5.1	TURA DI PRIMA FASE	18
5.2	TURA DI SECONDA FASE	19
5.3	TURA DI TERZA FASE	19



## **1 PREMESSE**

La presente relazione illustra le attività di cantiere necessarie a realizzare l'impianto idroelettrico in progetto sul fiume Adda, nel comune di Castelnuovo Bocca d'Adda (LO) in località Budriesse.

Analogamente a quanto fatto per le componenti dell'impianto, descritte nella *Relazione tecnica particolareggiata*, le attività di cantiere e le relative opere provvisorie sono state approfondite al fine di individuare le soluzioni tecniche in grado di minimizzare gli impatti ambientali del progetto, con particolare riferimento alla fase di realizzazione, in questo caso.

## **2 PROGRAMMA CRONOLOGICO DEI LAVORI**

Rimandando al *Cronoprogramma* allegato per i dettagli, si prevede una durata complessiva di circa 24 mesi per i lavori di realizzazione del progetto, a partire dall'ottenimento dell'Autorizzazione Unica per la costruzione e l'esercizio dell'impianto, come mostra la tabella riassuntiva di seguito riportata.

Si sottolinea che il cronoprogramma in oggetto è stato redatto in base ai livelli statistici dei fiumi Adda e Po nei diversi mesi dell'anno e quindi potrebbe subire variazioni significative in relazione alle portate e livelli che si verificano effettivamente in Adda e alla loro interferenza con i livelli del Po.

Mese (da AU)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Progettazione esecutiva	X	X	X	X	X	X																			
Appalti			X	X																					
Installazione cantieri					X																				
Opere provvisoriale centrale					X																				
Diaframmi centrale					X	X																			
Tura e taglione per spalla sinistra					X																				
Strutture spalla sinistra						X																			
Tappo di fondo in jet grouting							X	X																	
Tura 1ª campata sbarramento						X																			
Taglione 1ª campata sbarramento						X																			
Platea c.a. 1ª campata sbarramento							X																		
Montaggi 1ª campata sbarramento								X																	
Tura 2ª campata sbarramento									X																
Taglione 2ª campata sbarramento									X																
Platea c.a. 2ª campata sbarramento										X															
Montaggi 2ª campata sbarramento											X														
Tura 3ª campata sbarramento												X													
Taglione 3ª campata sbarramento												X	X												
Platea c.a. 3ª campata sbarramento													X	X											
Montaggi 3ª campata sbarramento														X											
Opere civili presa e canali															X	X	X	X							
Forniture e montaggi organi idraulici																	X	X							
Opere civili centrale							X	X	X	X	X	X	X	X					X	X	X	X			
Forniture e montaggi e.m.									X			X	X							X	X	X			
Finiture e ripristini																					X	X			
Avviamento e prove funzionali																						X	X		
Collaudo																									X

### **3 ANALISI DELLE FASI ESECUTIVE**

Nel presente capitolo sono descritte le attività e gli apprestamenti necessari per le varie fasi di lavoro previste, nonché le modalità di riduzione dei possibili impatti del cantiere.

#### **3.1 FASI DI LAVORO**

Vista la complessità dell'opera, per una migliore comprensione e un maggior approfondimento di quanto di seguito riportato in modo sintetico, si rimanda agli elaborati grafici descrittivi delle fasi esecutive del progetto. Si precisa che lo sviluppo delle varie fasi dipende totalmente dai livelli che si verificheranno nel fiume e ciò potrebbe consentire l'accorpamento di una o più fasi per rendere più razionale l'esecuzione dei lavori.

##### *3.1.1 Fase 1*

1. Scotciamento dell'area di cantiere
2. Preparazione del cantiere e delle strade di accesso
3. Realizzazione del campo prove per il jet-grouting

##### *3.1.2 Fase 2*

1. Scavo di sbancamento a quota 32,50 m s.l.m.
2. Scavo della rigola per lo scolo delle acque superficiali
3. Realizzazione delle ture a protezione dell'area della centrale e della campata destra
4. Realizzazione di una tura in adiacenza alla sponda sinistra per la realizzazione della spalla definitiva
5. Infissione di palancole in alveo e nel corpo delle ture di monte
6. Sistemazione di massi a protezione del piede della tura lato fiume
7. Realizzazione della spalla sinistra dello sbarramento

##### *3.1.3 Fase 3*

1. Realizzazione dei diaframmi nell'area della centrale
2. Realizzazione del taglione e dei pali isolati della campata destra della traversa
3. Realizzazione (con una seconda macchina) del primo tratto del taglione sotto la spalla sinistra

##### *3.1.4 Fase 4*

1. Realizzazione del tappo di fondo di jet-grouting nell'area utilizzando due macchine
2. Realizzazione della parte di valle della scala pesci e del canale di scarico di fondo
3. Realizzazione della fondazione della prima campata dello sbarramento

##### *3.1.5 Fase 5*

1. Scavo all'interno dei diaframmi fino alla quota d'imposta delle fondazioni
2. Realizzazione delle opere profonde all'interno dei diaframmi
3. Montaggio e messa in servizio della campata destra dello sbarramento mobile

##### *3.1.6 Fase 6*

1. Demolizione dei diaframmi a monte e valle fino alla quota di fondo dei canali
2. Rimodellazione della tura di monte con spostamento di parte delle palancole
3. Posa dei tubi e realizzazione della soprastante pista in corrispondenza della campata

destra dello sbarramento

4. Spostamento della tura di valle e della rampa di accesso allo scarico della centrale
5. Avanzamento dei lavori nell'area della centrale
6. Realizzazione (parziale) dei canali di carico

#### 3.1.7 Fase 7

1. Realizzazione del secondo tratto di tura in corrispondenza della campata centrale
2. Infissione di palancole nel corpo e all'estremità della tura in alveo
3. Spostamento dei massi di protezione dalla prima alla seconda campata della tura
4. Realizzazione del secondo tratto del taglione
5. Realizzazione della fondazione della campata centrale dello sbarramento
6. Avanzamento dei lavori nell'area della centrale
7. Completamento del canale di scarico con la formazione delle scogliere

#### 3.1.8 Fase 8

1. Montaggio e messa in servizio della campata centrale dello sbarramento mobile
2. Completamento dei lavori nell'area della centrale e rinterro della stessa
3. Realizzazione cavidotto di collegamento con ENEL (parte esterna al cantiere)

#### 3.1.9 Fase 9

1. Asportazione del secondo tratto di tura (e rimozione delle palancole)
2. Posa dei tubi e realizzazione della soprastante pista in corrispondenza della campata centrale dello sbarramento
3. Realizzazione del terzo tratto di tura, a monte della campata sinistra
4. Infissione di palancole nel corpo della tura
5. Inizio montaggi delle apparecchiature elettromeccaniche in centrale

#### 3.1.10 Fase 10

1. Completamento del taglione in sponda sinistra
2. Realizzazione della fondazione della campata sinistra dello sbarramento
3. Montaggio e messa in servizio della campata sinistra dello sbarramento mobile

#### 3.1.11 Fase 11

1. Asportazione del terzo tratto di tura (e rimozione delle palancole)
2. Realizzazione della tura a monte del canale di carico

#### 3.1.12 Fase 12

1. Rimozione delle ture in alveo
2. Recupero dei tubi e posa di parte degli stessi sul tratto terminale del Chiavicone
3. Rimozione della tura di valle

#### 3.1.13 Fase 13

1. Completamento dei canali di carico
2. Inizio montaggi organi idraulici, paratoie, griglie e sgrigliatore
3. Completamento del cavidotto ENEL

### 3.1.14 Fase 14

1. Rimozione della tura di monte
2. Parziale rinterro e sistemazione della sponda destra del Chiavicone
3. Prove e messa in servizio provvisoria dell'impianto

### 3.1.15 Fase 15

1. Completamento del rinterro della centrale
2. Rimozione del cantiere
3. Ripristino dello scotico
4. Sistemazioni definitive dell'area di cantiere

## 3.2 PROSPEZIONI GEOLOGICHE

Nell'area di cantiere è stata preliminarmente effettuata una campagna di indagini con lo scopo di ricavare informazioni sulle caratteristiche geotecniche e geologiche dei terreni di fondazione delle opere e sull'andamento dei deflussi sotterranei; i risultati ottenuti sono illustrati nell'allegata *Relazione geologica, geotecnica e sismica*.

Sono state inoltre eseguite indagini volte al campionamento ambientale del terreno di scavo interessato dalle opere; si veda al riguardo l'allegato *Piano di utilizzo delle terre e rocce da scavo*.

Infine, prima di eseguire i lavori, si valuterà se eseguire ulteriori sondaggi finalizzati a raccogliere informazioni aggiuntive per la progettazione costruttiva delle opere.

## 3.3 TAGLIO DI VEGETAZIONE ESISTENTE

La realizzazione dell'impianto prevede l'eliminazione della vegetazione di ripa solo negli spazi direttamente interessati dai nuovi manufatti: in sponda destra, nel tratto dove viene realizzata l'opera di presa e il canale di restituzione, per circa 180 m; in sponda sinistra, nel breve tratto impegnato dalla struttura di sostegno dello sbarramento e dalla massicciata di protezione, per circa 50 m. In sponda sinistra si tratterà di pochi alberi adulti isolati, mentre sono quasi assenti gli arbusti. La vegetazione eliminata in sponda destra appartiene alla fascia ripariale, che si presenta continua con spessore variabile - intorno ai 10 m nel tratto interessato dagli interventi - dallo sbocco del Collettore Adda-Maccastorna, localmente detto anche "Chiavicone".

Una fitta formazione lineare mista, in prevalenza arbustiva con presenze arboree, sarà realizzata lungo la riva del canale di restituzione, con la duplice funzione di messa in sicurezza (protezione dalla scarpata del canale stesso) e di collegamento tra le macchie boschive naturaliformi presenti sulla sponda, che non sono in alcun modo toccate dal progetto.

Le specie della nuova formazione, della lunghezza di circa 180 m, saranno strettamente autoctone, scelte tra quelle eliminate e comunque indicate negli elenchi del Parco Adda Sud per la zona.

Per nessuna delle altre aree legate all'attività di cantiere (deposito materiali, betonaggi, ecc.) si rende necessario intervenire sulla vegetazione esistente.

Lungo il tratto interessato dal rigurgito, per la vegetazione arborea (salici, pioppi ibridi) che sarà sommersa costantemente per oltre 1 m di altezza dal proprio piede - condizione che, sulla base dei modelli idraulici calcolati e dei sopralluoghi effettuati, si verifica nei primi 2 km verso monte dallo sbarramento - si prevede il monitoraggio costante, al fine di gestire la sicurezza sia delle sponde che dell'impianto.

Nel tempo saranno effettuati tagli selettivi di quegli alberi, insediati sulla sponda sommersa, che dimostreranno condizioni fitosanitarie e/o statiche precarie. Potranno essere mantenute in situ piante morte se d'interesse ecologico e non pericolose idraulicamente e/o per la stabilità spondale.

L'abbattimento dello sbarramento per la manutenzione dell'impianto rappresenterà il momento privilegiato per i controlli e gli eventuali interventi sulla vegetazione.

#### 3.4 INSEDIAMENTI DI CANTIERE

Per evitare il depositare per tempi lunghi in zona golenale il materiale e i mezzi necessari all'esecuzione dei lavori, le aree del cantiere principale sono state divise in due, rappresentate nei disegni di progetto:

- l'area operativa, dove si svolgeranno le attività edificatorie, necessariamente in golena;
- l'area di deposito, ubicata oltre l'argine maestro e adeguatamente recintata, dove potranno essere collocati i materiali d'utilizzo non immediato, nonché ricoverati i mezzi meccanici a fine giornata.

Nell'area di deposito sarà anche installato un impianto di betonaggio, dove sarà impiegato in gran parte il materiale di risulta (essenzialmente sabbia e ghiaietto) proveniente dagli scavi, dopo essere stato lavato e corretto con un adeguato dosaggio di ghiaia d'adeguata pezzatura per ottenere una curva granulometrica appropriata. In questo modo si conseguirà il duplice scopo di ridurre i quantitativi d'inerte per calcestruzzo da approvvigionare e di materiale di risulta degli scavi da smaltire, riducendo drasticamente i trasporti da e verso il cantiere.

Proprio per questo motivo s'è scelto di installare tale impianto, che dal punto di vista economico risulterebbe conveniente solo per quantitativi di calcestruzzo alquanto maggiori di quelli previsti nel progetto.

Nell'area di deposito sarà realizzato anche un pozzo per l'approvvigionamento d'acqua necessario all'impianto di betonaggio, per la vagliatura, per bagnare le piste di accesso e di cantiere allo scopo di ridurre al minimo le polveri sollevate dal transito dei mezzi di trasporto e d'opera; lo stesso pozzo sarà utilizzato per l'approvvigionamento dell'acqua necessaria ai servizi del cantiere.

Inoltre qui troveranno posto una o più baracche di cantiere, che costituiranno il recapito dell'esecutore delle opere e il ricovero dell'attrezzatura di piccole dimensioni e della documentazione di progetto, nonché la sede per le riunioni di cantiere con la Direzione Lavori e con il Coordinatore per la sicurezza.

Gli approvvigionamenti idrici per il personale avverranno tramite un pozzo, già necessario per gli usi produttivi, mentre l'acqua potabile verrà erogata da specifici *dispenser* ricaricati con acqua minerale. Si tratterà di un pozzo per il quale verrà richiesta specifica autorizzazione/concessione, limitato all'acquifero più superficiale, ampiamente disponibile rispetto ai prelievi necessari.

Infine non è previsto alcuno scarico idrico, perché le acque di risulta dell'impianto di vagliatura saranno riutilizzate in un ciclo chiuso, per l'impianto di betonaggio e per irrorare delle piste di cantiere e delle strade di accesso, mentre le acque provenienti dai servizi igienici saranno totalmente stoccate e allontanate da imprese specializzate.

Ulteriormente sarà approntato un piccolo cantiere temporaneo in sponda sinistra allo scopo di realizzare i manufatti previsti in quest'area. In particolare si tratta delle muraure costituenti la spalla vera e propria, il passaggio per le barche e le scogliere di massi a protezione delle scarpate di monte e di valle.

Si ritiene opportuno realizzare queste opere prima d'entrare nel fiume con le ture necessarie a costruire lo sbarramento mobile, per evitare che l'aumento di velocità dell'acqua, che potrebbe verificarsi durante tali fasi di lavoro, possa provocare danni per erosione alla sponda sinistra in corrispondenza della briglia esistente.

S'evidenzia che nell'ambito dell'area operativa sarà realizzato un approdo per chiatte, il mezzo di trasporto che sarà impiegato, quando le condizioni idrologiche lo consentiranno, per allontanare dal cantiere parte del materiale di scavo in esubero e, allo stesso modo, approvvigionare il cantiere degli inerti di pezzatura maggiore per il confezionamento dei conglomerati cementizi e di altro materiale, di dimensioni e/o quantità cospicue, necessario al cantiere. In tal modo si riuscirà a ridurre al minimo la necessità dei trasporti su gomma, a tutto vantaggio della viabilità delle zone circostanti al cantiere, con ricadute positive anche per quanto concerne le emissioni acustiche e di gas di scarico.

In definitiva, contestualmente all'esecuzione degli scavi il materiale sarà subito selezionato tra la frazione idonea al riutilizzo in cantiere, che andrà direttamente nell'area di deposito al di fuori della fascia golenale, e quella destinata all'allontanamento, che sarà invece caricata sulla chiatta ormeggiata nella zona operativa di cantiere quando le condizioni idrologiche e in particolare i livelli dell'Adda e del Po saranno tali da consentire la navigazione.

Da ultimo si precisa che la movimentazione del materiale da costruzione sarà effettuata con autogru e scavatori semoventi, al fine d'evitare la permanenza in area golenale di strutture fisse, quali i tralicciati delle tipiche di cantiere gru a bandiera, nonché del consistente basamento di calcestruzzo armato necessario per sorreggerle.

### 3.5 SITI DI ACCUMULO E STOCCAGGIO

Come descritto in maggiore dettaglio nel *Piano di utilizzo delle terre e rocce da scavo*, il materiale di scavo destinato al riutilizzo sarà accumulato nell'area di deposito appositamente costituita al di fuori della fasce golenale (vedi paragrafo precedente), dove una

volta selezionato potrà essere destinato all'impianto di betonaggio, ai rinterrati o al trasporto verso i siti individuati nel suddetto *Piano di utilizzo*.

Sono inoltre previste aree di stoccaggio nell'area operativa per il deposito dei materiali d'immediato utilizzo, quali ferro di armatura, elementi dello sbarramento e carpenteria metallica. Tutte le strutture provvisorie saranno smantellate alla fine dei lavori con la riduzione in pristino dei luoghi.

### 3.6 STRADE PER IL CANTIERE E PISTE PROVVISORIALI

L'area di intervento è raggiungibile attraverso la strada sterrata che passa sull'argine maestro in sponda destra, già ora percorribile da normali mezzi di cantiere, con accessi sia da monte che da valle. Per salire e scendere dall'argine stesso e accedere all'area operativa e a quella di deposito saranno realizzate le apposite rampe rappresentate negli elaborati grafici già citati. Si precisa che mentre la pista d'accesso all'area golenale, realizzata nella direzione del flusso d'acqua, rimarrà come accesso all'impianto, quella d'ingresso all'area di deposito darà invece asportata a fine lavori, riportando in pristino l'area interessata a tale scopo.

Per la costruzione dello sbarramento è prevista la realizzazione di piste in alveo in modo che materiale depositato presso le aree di cantiere e mezzi meccanici arrivino comunque dalla sponda destra; solo le strutture della spalla sinistra, come detto al § 3.4, saranno realizzate prima, accedendo dalla sponda sinistra.

Tali piste hanno carattere esclusivamente provvisoriale e quindi saranno completamente rimosse in modo graduale una volta completati i lavori.

### 3.7 INTERFERENZA SULLA VIABILITÀ ESISTENTE

Come detto in precedenza, il trasporto dei materiali da e verso il cantiere sarà effettuato tramite chiatte per quanto possibile; la stima di dettaglio dei quantitativi trasportati e del numero di viaggi necessari è riportata nello Studio di Impatto Ambientale. In ogni caso i mezzi di cantiere circoleranno principalmente tra le aree di deposito e le zone operative, senza interferire con la viabilità locale; questa sarà coinvolta limitatamente al trasporto dei materiali residui, rispetto a quelli su chiatta, per la costruzione dell'impianto e delle forniture elettromeccaniche (turbine, generatori, paratoie, ecc.), per le quali potranno essere previsti trasporti speciali.

### 3.8 MONTAGGI

I montaggi elettromeccanici rappresentano un'attività consistente; essi consistono in:

- installazione dei gruppi idroelettrici;
- installazione degli organi idraulici (paratoie e sgrigliatori);
- posa dello sbarramento mobile;
- montaggi elettrici;
- realizzazione del cavo interrato di collegamento alla cabina di consegna;
- allacciamento alla rete del distributore locale.

Questi montaggi saranno in parte eseguiti con mezzi di sollevamento di grande portata (autogru) e in parte anche con il carroponete di centrale.

### 3.9 MEZZI DI CANTIERE

È previsto l'utilizzo dei seguenti mezzi di cantiere:

- 2 escavatori cingolati
- 1 escavatore cingolato con benna mordente
- 1 escavatore con braccio da 20 m (oppure a fune tipo Ruston) per carico e scarico chiatte
- 1 pala gommata
- 2 autocarri
- 1 chiatta per il trasporto del materiale via fiume
- 1 autogrù da 50 t
- 1 centralina di betonaggio, completa di trattamento e selezione degli inerti
- 1 autobetoniera
- 2 pompe per calcestruzzo
- 2 macchine per la realizzazione dei diaframmi
- 2 macchine per la realizzazione del jet-grouting
- 2 macchine per l'infissione e il recupero delle palancole
- 1 silo per la malta d'iniezione del jet-grouting
- 1 silo per il cemento
- vasche di accumulo e decantazione dei fanghi bentonitici

### 3.10 MISURE DI MITIGAZIONE IN FASE DI CANTIERE

#### 3.10.1 *Acque superficiali e interazioni con la falda*

Per allontanare dalle zone di lavoro le acque di infiltrazione è previsto l'utilizzo di pompe di aggotamento, posate a più livelli in funzione dei piani di scavo. Per evitare che le acque di aggotamento (che generalmente trascinano in sospensione una componente limosa) possano intorbidire le acque del corso d'acqua, esse verranno fatte decantare in un'apposita vasca prima di scaricarle in Adda.

Saranno inoltre a disposizione in cantiere panne assorbenti da prevedere eventualmente a valle delle opere previste in alveo, al fine di trattenere eventuali perdite di liquidi dei macchinari di cantiere. Ad ogni buon conto gli scarichi saranno opportunamente confinati e convogliati per evitare dispersioni non controllate.

Per quanto riguarda la realizzazione della centrale, si prevede di realizzare un canale di scolo alla quota 32,00 m s.l.m. che raccoglierà l'acqua di falda quando questa s'innalza e la recapiterà direttamente a fiume; si tratterà comunque di acqua pulita in quanto non intorbidita da operazioni di scavo, che saranno realizzate in un fase precedente.

È prevista l'installazione di un ulteriore pompa ad un livello più basso all'interno della "scatola" di diaframmi per la realizzazione delle vie d'acqua della centrale.

Si sottolinea che lo scavo sarà confinato all'interno dei diaframmi e in presenza d'un

consistente tappo di fondo di jet-grouting, così da ridurre a poca cosa le venute d'acqua. I getti in alveo saranno eseguiti in condizioni di sicurezza e in asciutta; a tal proposito, come detto, saranno previste pompe per allontanare l'acqua d'infiltrazione dalle aree d'intervento.

Come detto al § 3.4, infine, non sono previsti scarichi di alcun tipo, poiché le acque di risulta dell'impianto di vagliatura saranno riutilizzate in un ciclo chiuso, per l'impianto di betonaggio e per l'irrorazione delle piste di cantiere e delle strade di accesso, mentre le acque provenienti dai servizi igienici saranno totalmente stoccate e allontanate da imprese specializzate.

### 3.10.2 Atmosfera

Si prevede la copertura degli automezzi con teli in caso di particolare ventosità, la limitazione della velocità dei mezzi e il ricorso a mezzi d'opera con certificazione CE relativa alle emissioni inquinanti, per quanto riguarda perdite accidentali di oli e carburanti, emissioni in atmosfera, emissioni acustiche, ecc.

Per quanto concerne le piste di cantiere e la viabilità sterrata, esse verranno mantenute bagnate per limitare l'innalzamento di polveri derivanti dal transito dei mezzi.

### 3.10.3 Suolo

Prima dell'avvio dei lavori saranno predisposti piani di emergenza che prevedano un tempestivo intervento in casi di contaminazione incidentale e la successiva bonifica dei suoli a seguito di sversamenti. Tali indicazioni saranno contenute nel Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC). Per la gestione delle terre da scavo, infine, si fa riferimento al già citato *Piano di utilizzo*, allegato al progetto.

### 3.10.4 Rifiuti

Le aree individuate per lo stoccaggio dei materiali di cantiere saranno dotate di idonee zone di deposito e stoccaggio delle materie prime, secondo le specifiche casistiche di rischio e pericolo. La manutenzione di mezzi avverrà presso la sede delle imprese esecutrici, esternamente alle aree di cantiere, ragione per la quale non sono previsti stoccaggi di rifiuti di tale origine.

Gli eventuali materiali di risulta dalle lavorazioni - quali carta, plastica, metallo, legno, ecc. - saranno differenziati e conferiti in discariche autorizzate.

Infine saranno installate in cantiere vasche di decantazione della bentonite utilizzata, che sarà quindi riciclata e, al termine dei lavori, sarà totalmente recuperata dalle imprese esecutrici, che la riporteranno nelle loro sedi per trattarla e riutilizzarla.

### 3.10.5 Rumore

Si veda l'allegata *Previsione di impatto acustico*, relativa sia alla fase esecutiva sia a quella di esercizio dell'impianto.

## 3.11 QUANTIFICAZIONE DI SCAVI E RINTERRI

Di seguito si riporta la tabella di sintesi ricavata sulla base del computo metrico estimativo, con l'ipotesi di lavoro - dettata dalla nostra esperienza in analoghe lavorazioni -

che una percentuale  $p = 30\%$  del materiale delle ture non possa essere recuperata, tipicamente la frazione sommersa.

Si evince che resteranno circa 34 mila  $m^3$  di materiale di scavo in esubero; essi in parte saranno riutilizzati all'interno del cantiere, nell'impianto di betonaggio citato al § 3.4, in parte saranno portati nei siti individuati nel citato *Piano di utilizzo*.

Infine, per quanto riguarda i sedimenti che nel corso del tempo si sono accumulati in sponda destra a valle della briglia fino a formare una barra di depositi sabbiosi, in fase di realizzazione del canale di scarico sarà asportata una parte del materiale, per un'altezza di circa un metro; il corrispondente volume di scavo, pari all'incirca a 150  $m^3$ , è stato già considerato nel computo metrico. A seguito di ciò non dovrebbe più verificarsi tale accumulo, poiché la restituzione delle portate turbinate dall'impianto impedirà il riformarsi di tale deposito.

<i>Fase</i>	<i>Scotico</i>	<i>Scavi</i>	<i>Ture</i>	<i>Rimozione teorica ture</i>	<i>Rimozione effettiva ture</i>	<i>Rinterri scotico</i>	<i>Rinterri scavi</i>	<i>Materiale di risulta</i>
	$m^3$	$m^3$	$m^3$	$m^3$	$m^3$	$m^3$	$m^3$	$m^3$
1	-	-	-	-	-	-	-	-
2	7.500	30.360	6.715					23.645
3		10.684	-					34.329
4			-					34.329
5		2.500	8.190	2.275	1.593			30.231
6		2.916	-	-	-			33.147
7			3.124	3.990	2.793			32.816
8		823	2.016	-	-			31.624
9			1.536	2.016	1.411			31.499
10			2.520	-	-			28.979
11			-	2.520	1.764			30.743
12			-	3.552	2.486			33.229
13			-	5.224	3.657			36.886
14			-	3.900	2.730	7.500	5.460	34.156
15								34.156
<b>FINE</b>	<b>7.500</b>	<b>47.283</b>	<b>24.101</b>	<b>23.477</b>	<b>16.434</b>	<b>7.500</b>	<b>5.460</b>	<b>34.156</b>

### 3.12 QUANTIFICAZIONE DEI MOVIMENTI DI TERRENO E MATERIALI

In sede di progettazione definitiva e in particolare di definizione degli scavi e delle fasi esecutive, come già accennato, è stata sviluppata la soluzione di impiegare parte del materiale di scavo in un impianto di betonaggio installato in adiacenza al cantiere, al servizio dello stesso. La valutazione tecnico-economica di questa opportunità richiede dunque la quantificazione del materiale riutilizzabile e di quello da approvvigionare per ottenere una miscela di granulometria idonea; in tal modo si potrà stimare l'effetto della soluzione in esame sui trasporti in ingresso e in uscita dal cantiere (rispettivamente per approvvigionare i materiali di costruzione e smaltire il materiale di risulta degli scavi) e di conseguenza sui costi e sugli impatti ambientali del progetto.

Considerando la composizione del materiale di scavo riportata sui profili geologici dei carotaggi in sponda destra e confrontandola con una possibile curva granulometrica di massima, s'è considerato di poter ricavare il **75%** degli inerti necessari dal riutilizzo del materiale di risulta degli scavi e quindi integrare il **25%** della ricetta con ghiaia grossolana (15-25 mm) approvvigionata dall'esterno.

In base al computo metrico estimativo, la costruzione dell'impianto richiederà in totale circa **15.400 m<sup>3</sup>** di calcestruzzo, pertanto l'impianto di betonaggio sarà approvvigionato con **11.550 m<sup>3</sup>** (75% del totale) di terreno scavato e con i restanti **3.850 m<sup>3</sup>** trasportati dall'esterno. A tal proposito, come descritto in maggior dettaglio nel *Piano di utilizzo*, è stato individuato un fornitore che, quando sarà possibile in relazione ai livelli idrici in Adda e in Po, raggiungerà il cantiere risalendo il Po e l'Adda con le idonee chiatte cariche di ghiaia e tornerà indietro trasportando il materiale di scavo da impiegare nei propri cantieri. In questo modo sarà conseguita una notevole economia di trasporti, oltre al fatto di effettuarne una parte via fiume, evitando gli impatti quantificati nello Studio di Impatto Ambientale in termini di traffico stradale e di emissioni in atmosfera.

La tabella seguente riporta il dettaglio fase per fase dei movimenti in ingresso e uscita dal cantiere di materiale di costruzione e di scavo: come si può notare sono stati previsti più movimenti in uscita (complessivi, tra chiatte e camion) nelle prime fasi, al fine di minimizzare l'accumulo di terreno nell'area di deposito citata al § 3.4.

<i>Fase</i>	<i>Materiale di risulta</i>	<i>Calcestruzzo necessario</i>	<i>Materiale riutilizzato</i>	<i>Ghiaia in ingresso</i>	<i>Materiale in uscita</i>	<i>Esubero effettivo</i>	<i>Deposito materiale</i>
	<i>m<sup>3</sup></i>	<i>m<sup>3</sup></i>	<i>m<sup>3</sup></i>	<i>m<sup>3</sup></i>	<i>m<sup>3</sup></i>	<i>m<sup>3</sup></i>	<i>m<sup>3</sup></i>
1	-	-	-	-	-	-	-
2	23.645	60	45	15	10.000	13.600	13.600
3	34.329	3.790	2.843	948	5.000	2.841	16.441
4	34.329	400	300	100	1.000	-1.300	15.141
5	30.231	1.300	975	325	500	-5.572	9.569
6	33.147	3.570	2.678	893	500	-262	9.307
7	32.816	550	413	138	500	-1.244	8.064
8	31.624	280	210	70	500	-1.903	6.161
9	31.499	-	-	-	-	-125	6.036
10	28.979	2800	2.100	700	1.000	-5.620	416
11	30.743	-	-	-	1.000	764	1.180
12	33.229	-	-	-	-	2.486	3.667
13	36.886	2650	1.988	663	2.606	-937	2.730
14	34.156	-	-	-	-	-2.730	0
15	34.156	-	-	-	-	0	0
<b>FINE</b>	<b>34.156</b>	<b>15.400</b>	<b>11.550</b>	<b>3.850</b>	<b>22.606</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

#### **4 OPERE PROVVISORIALI PREVISTE**

La realizzazione di un impianto a cavallo d'una traversa, come quello in esame, prevede inevitabilmente alcune lavorazioni da eseguire in alveo o in adiacenza allo stesso.

Pertanto saranno necessarie sia ture in alveo, che saranno rimosse alla fine dei lavori, per proteggere il cantiere di realizzazione dello sbarramento dalla corrente del fiume, sia opere speciali di fondazione, che quindi rimarranno definitivamente, sia opere di sostegno degli scavi, che invece hanno carattere solo provvisorio (tipicamente i palancole metallici).

##### **4.1 TURE PROVVISORIE IN ALVEO**

Nello sviluppo del progetto, abbiamo assunto come vincolo di accedere all'alveo dalla sponda destra per movimentare il materiale di scavo di cui saranno costituite le ture, in modo da evitare il transito nelle strade della zona d'un numero considerevole di autocarri per il trasporto in sponda sinistra; l'accesso da quest'ultima sponda è invece previsto per le modeste quantità di materiali accessori.

Inoltre abbiamo suddiviso la realizzazione dell'opera in numerose fasi di lavoro, al fine di ridurre l'entità e i tempi di permanenza all'interno dell'alveo dell'Adda, che sono ovviamente quelli più a rischio in caso di piene del fiume.

Per quanto riguarda le fasi che comportano l'occupazione dell'alveo, a parte la modesta occupazione in sponda sinistra necessaria per edificare le opere a rinforzo della stessa, dapprima sarà sbarrata a monte e valle la parte destra del fiume, per circa un terzo della sua larghezza, con una tura provvisoria di materiale idoneo, al fine di costruire la campata destra dello sbarramento - previa realizzazione del taglione antisifonamento - e la canalizzazione (con il relativo canale) per lo sghiaimento.

Una volta terminata la campata, completa delle ventole dello sbarramento mobile montate e collaudate, si provvederà a rimuovere la tura di protezione, sostituendola con un guado, costituito da tubazioni di calcestruzzo e soprastante pista di materiale arido, allo scopo di consentire il transito di parte della portata del fiume attraverso l'opera in questione. Potrà quindi essere realizzata la tura a protezione della parte centrale dello sbarramento e quindi le relative opere di calcestruzzo armato ed i montaggi meccanici.

Messa in funzione anche questa campata centrale, la tura di monte sarà infine prolungata fino alla sponda sinistra, inserendo i suddetti tubi di calcestruzzo anche nella parte centrale, per realizzare in sicurezza la campata sinistra dello sbarramento, collegandosi ai manufatti costituenti la spalla già edificati preliminarmente.

Gli elaborati grafici di progetto mostrano visivamente le fasi di lavoro testé descritte.

##### **4.2 OPERE SPECIALI DI FONDAZIONE E SOSTEGNO DEGLI SCAVI**

Per quanto riguarda lo sbarramento, innanzitutto sarà realizzato un taglione continuo a monte con funzione anti-sifonamento e per ridurre la sottospinta dell'acqua alla base delle fondazioni.

A tal scopo la profondità minima da raggiungere è di 12 m sotto il piano della platea di fondazione ed esso s'immorserà per circa 15 m sotto la spalla sinistra. Sul lato destro proseguirà fino a congiungersi, senza soluzione di continuità, con i diaframmi previsti come opere provvisorie e di fondazione profonda della centrale, completando così l'intercettazione dei flussi sotterranei che potrebbero minare nel tempo la stabilità dei nuovi manufatti.

Inoltre lo sbarramento sarà sostenuto a monte e a valle da palificazioni, costituite da colonne di jet-grouting o realizzate con altra tecnologia di analoga efficacia.

Nella zona della centrale, dove si eseguiranno gli scavi a profondità maggiore, sarà preliminarmente realizzata una scatola di diaframmi di calcestruzzo armato, scavati a pannelli con l'ausilio di fanghi bentonitici, completandola con un tappo di fondo di jet-grouting colonnare a completa interferenza, per evitare il sollevamento del fondo scavo. In tal modo si potranno eseguire gli scavi profondi sotto falda in sicurezza, limitando al massimo i pompaggi per tenerli asciutti. Inoltre i diaframmi di calcestruzzo armato costituiranno le fondazioni profonde del corpo della centrale, evitando cedimenti d'entità incompatibile con il corretto funzionamento del macchinario idroelettrico.

Eventuali altre palificazioni saranno eseguite per sostenere parti accessorie dell'impianto, quali il canale di scarico di fondo e il manufatto di passaggio dei pesci.

## 5 VERIFICA DELLE TURE

Anche le opere provvisoriale sono state dimensionate in modo da garantire adeguate condizioni di sicurezza durante la realizzazione dell'impianto, con i livelli massimi nel fiume individuati come compatibili per effettuare ogni specifica attività di cantiere.

In particolare, come detto al § 4.1, l'alveo fluviale sarà parzializzato con ture di materiale arido, in gran parte proveniente dagli scavi, in fasi successive; dapprima sarà sbarrato per circa un terzo della larghezza, in sponda destra idraulica, quindi resteranno circa 90 m liberi per il deflusso delle portate fluviali, successivamente l'alveo sarà occupato da un guado costituito da tubi circolari di calcestruzzo, d'adeguato diametro e numero, sormontati da una pista di materiale arido.

### 5.1 TURA DI PRIMA FASE

Nella prima fase si verifica che la sezione libera dell'alveo consenta di smaltire in sicurezza le portate in arrivo, fino a valori elevati ma senza arrivare alle piene, perché in tali condizioni (che peraltro non si verificano improvvisamente come per i torrenti montani, trattandosi del tratto terminale di un fiume di pianura, per di più regolato a monte dal lago di Como) sarebbero ovviamente sospesi i lavori.

Per varie portate defluenti nel fiume si ricava dunque l'altezza d'acqua presso la tura dalla formula dello stramazzone libero, dato che la tura stessa sarà posizionata appena a monte della briglia e quindi il livello idrico corrisponde appunto al battente a monte della soglia sfiorante.

La tabella seguente riporta, i valori dell'altezza d'acqua prima e dopo la realizzazione della tura (cioè con larghezza di sfioro di 135 e 90 m) nonché i livelli assoluti con la tura e il franco rispetto alla sommità della stessa, posta a 35,00 m s.l.m.; si evince che la sicurezza è garantita da un franco di mezzo metro fino a portate molto elevate (circa 430 m<sup>3</sup>/s) e corrispondenti a condizioni idrologiche in cui saranno già stati sospesi i lavori.

$Q$ fiume [m <sup>3</sup> /s]	$h$ senza tura [m]	$h$ con tura [m]	$p.a.$ con tura [m s.l.m.]	Franco tura [m]
100	0,57	0,75	33,25	1,75
120	0,65	0,85	33,35	1,65
150	0,75	0,98	33,48	1,52
200	0,91	1,19	33,69	1,31
250	1,06	1,38	33,88	1,12
300	1,19	1,56	34,06	0,94
350	1,32	1,73	34,23	0,77
400	1,45	1,89	34,39	0,61
430	1,52	1,99	34,49	0,51

Anche in questo caso, come per la descrizione (v. *Relazione tecnica particolareggiata*) del funzionamento idraulico dello traversa, queste valutazioni valgono per le situazioni in cui il livello del fiume Po non è così alto da rigurgitare l'Adda fino all'area di lavoro;

ad ogni modo si tratta di condizioni che s'instaurano gradualmente, cosicché vi sarebbe tutto il tempo di sospendere i lavori.

## 5.2 TURA DI SECONDA FASE

Nella seconda fase si verifica invece che l'insieme della sezione libera in sponda sinistra e dei tubi inseriti nella tura in sponda destra consenta il transito in sicurezza dei deflussi considerati al punto precedente.

La sezione complessivamente disponibile per il deflusso è dunque costituita da 45 m di soglia sfiorante (non rigurgitata, come spiegato al punto precedente) e da 16 tubi di calcestruzzo da 1,50 m di diametro, inseriti nel corpo della tura.

In questo caso la verifica parte dal livello idrico di monte, dal quale si calcola la portata sfiorata dalla soglia libera e quella convogliata dai tubi attraverso la tura.

La prima si determina attraverso la formula dell'idraulica monodimensionale per uno stramazzo a larga soglia con coefficiente di deflusso  $\mu = 0,385$  e battente  $h_m$  a monte; la seconda è data dalla formula degli orifizi liberi sotto battente, dove  $c_c = 0,61$  è il coefficiente d'efflusso e  $h_G$  è il battente sul baricentro del tubo:

- $Q_{sfioro} = \mu \cdot b \cdot h_m \cdot \sqrt{2g \cdot h_m}$
- $Q_{tubi} = N_{tubi} \cdot c_c \cdot \pi \cdot D_{tubi}^2 / 4 \cdot \sqrt{2g \cdot h_G}$

La tabella seguente riassume i risultati dei calcoli testé illustrati; si evince che la sicurezza è garantita da un franco di 0,50 m fino a portate di circa 300 m<sup>3</sup>/s, ovviamente un po' inferiori rispetto alla prima fase di lavoro ma comunque corrispondenti a condizioni idrologiche di morbida.

<i>p.a. monte</i> [m s.l.m.]	<i>h sfioro soglia</i> [m]	<i>Q sfioro</i> [m <sup>3</sup> /s]	<i>Q tubi</i> [m <sup>3</sup> /s]	<i>Q tot</i> [m <sup>3</sup> /s]	<i>Franco tura</i> [m]
33,50	1,00	77	30	106	1,50
33,75	1,25	107	48	156	1,25
34,00	1,50	141	62	203	1,00
34,25	1,75	178	72	250	0,75
<b>34,50</b>	<b>2,00</b>	<b>217</b>	<b>82</b>	<b>299</b>	<b>0,50</b>
34,75	2,25	259	90	349	0,25

## 5.3 TURA DI TERZA FASE

In fase di realizzazione della campata e spalla sinistra dello sbarramento si verifica che i 36 tubi di calcestruzzo da 1,50 m di diametro, inseriti nella tura che sbarra le campate destra e centrale, consentano di smaltire in sicurezza le portate in arrivo.

Anche in questo caso la verifica parte dal livello idrico di monte, dal quale si calcola la portata sfiorata dalla soglia libera e quella convogliata dai tubi attraverso la tura, con le formule illustrate al punto precedente.

Dalla tabella seguente, che riassume i risultati dei calcoli, si evince che la sicurezza è garantita da un franco di 0,50 m fino a portate di circa 185 m<sup>3</sup>/s, inferiori rispetto alla fase precedente; si tenga però presente che questa situazione avrà durata minore, poiché le lavorazioni saranno eseguite dalla sponda destra, quindi le stesse ture saranno realizzate da destra verso sinistra e rimosse procedendo in senso opposto, cosicché la tura di terza fase verrà rimossa non appena sarà ultimata la campata sinistra dello sbarramento.

<i>p.a. monte</i> <i>[m s.l.m.]</i>	<i>h sfioro</i> <i>soglia [m]</i>	<i>Q sfioro</i> <i>[m<sup>3</sup>/s]</i>	<i>Q tubi</i> <i>[m<sup>3</sup>/s]</i>	<i>Q tot</i> <i>[m<sup>3</sup>/s]</i>	<i>Franco</i> <i>tura [m]</i>
33,50	1,00	0	67	67	1,50
33,75	1,25	0	109	109	1,25
34,00	1,50	0	139	139	1,00
34,25	1,75	0	163	163	0,75
<b>34,50</b>	<b>2,00</b>	<b>0</b>	<b>184</b>	<b>184</b>	<b>0,50</b>
34,75	2,25	0	203	203	0,25

### 5.3.1 Conclusioni

In definitiva le ture provvisorie sono state dimensionate per smaltire in sicurezza portate di entità proporzionata alla durata della situazione di riferimento, considerando che i lavori procederanno da destra a sinistra, mentre le ture saranno rimosse procedendo in senso opposto. Per portate del fiume elevate, o che risentono dell'effetto di rigurgito del fiume Po, l'acqua inizia a tracimare dalla sommità della tura che, essendo di materiale arido compattato ma incoerente, è destinata a essere asportata dalla corrente.

Come già accennato, però, in tali condizioni i lavori sarebbero già stati sospesi da tempo e quindi non vi sarebbero problemi di sicurezza in cantiere.