



IMPIANTO IDROELETTRICO DI BUDRIESSE

Comuni di Maccastorna e Castelnuovo Bocca d'Adda (LO)
Comune di Crotta d'Adda (CR)

DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ DI CANTIERE

Progettista: Ing. Luigi Lorenzo Papetti

STRATEGIES FOR WATER



File	rel04can23r1				
Commessa	1419				
Note					
Rev.	Descrizione	Preparato da	Controllato da	Approvato da	Data
1		G. Frosio	F. Frosio	L. Papetti	19/12/2023

Questo documento non può essere riprodotto, né utilizzato altrove, né ceduto a terzi in tutto o in parte senza il consenso scritto degli autori

INDICE

1	Premessa	4
2	Programma cronologico dei lavori	4
3	Analisi delle fasi esecutive	6
3.1	Fasi di lavoro	6
3.2	Prospezioni geologiche	8
3.3	Taglio di vegetazione esistente	8
3.4	Insedimenti di cantiere	9
3.5	Siti di accumulo e stoccaggio	10
3.6	Strade per il cantiere e piste provvisionali	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	13
3.12	Quantificazione dei movimenti di terreno e materiali	13
4	Opere provvisionali previste	14
4.1	Ture provvisorie in alveo	14
4.2	Opere speciali di fondazione e sostegno degli scavi	14
5	Verifica delle ture	16
5.1	Ture di prima fase	16
5.2	Ture di seconda fase	17
5.3	Ture di terza fase	17
5.4	Passaggio delle piene	18
5.5	Conclusioni	20

1 PREMESSA

La presente relazione illustra gli aspetti legati alla cantieristica del progetto definitivo a corredo dell'istanza di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) per la domanda di concessione a derivare l'acqua del fiume Adda per l'impianto idroelettrico detto "Budriesse", da realizzarsi nell'omonima località in comune di Castelnuovo Bocca d'Adda (LO).

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 anche 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																			
Palancole e taglione per spalla sinistra					X																				
Diaframmi spalla SX						X																			
Strutture spalla SX							X	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

Tabella 1 – Programma cronologico previsto per i lavori di realizzazione dell’impianto in progetto

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. Scoticamento 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. Infissione di palancole permanenti in alveo e in sponda sinistra, nonché di quelle provvisorie nel corpo delle ture di monte
5. Sistemazione di massi a protezione del piede della tura lato fiume

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 della centrale
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 (platee e muri laterali)
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
4. Infissione di palancole e realizzazione delle strutture in sponda sinistra (paranco per barche e passaggio per canoe)

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. Ripristino dello scotico
3. Rimozione del cantiere e sistemazioni definitive dell'area

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*.

Sono stati inoltre acquisiti i risultati di indagini precedentemente eseguite per il campionamento ambientale del terreno interessato dagli scavi per le opere in progetto, come illustrato nella *Relazione di gestione delle terre e rocce da scavo* allegata al SIA.

Infine, prima di eseguire i lavori, si valuterà l'opportunità e posizione di realizzazione di 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 del paranco e dalla massicciata di protezione, per una lunghezza di 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".

Il progetto prevede una formazione lineare a ridosso dei manufatti a terra, 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. La macchia a valle è contigua alla vegetazione di ripa a sud dello sbocco del canale di restituzione, così da mitigare il danno causato dalla eliminazione della vegetazione di sponda, ristabilendo il collegamento tra le macchie alberate vicine e dunque con la fascia di ripa a valle.

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 lavorazioni, 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 realizzato anche un pozzo per l'approvvigionamento d'acqua necessario 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 il 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 sarà richiesta una specifica autorizzazione/concessione, limitato all'acquifero più superficiale, ampiamente disponibile rispetto ai prelievi necessari.

Infine non è previsto alcuno scarico idrico, perché le uniche acque reflue, quelle provenienti dai servizi igienici, saranno stoccate e allontanate da imprese specializzate.

Per realizzare i manufatti previsti in sponda sinistra (paranco per il passaggio delle piccole imbarcazioni e scogliere di massi a protezione delle scarpate di monte e di valle) sarà approntato un cantiere temporaneo di modesta entità e durata, riducendo al minimo necessario il transito di mezzi su tale sponda.

Si precisa infine che la movimentazione del materiale da costruzione sarà effettuata con autogru e scavatori semoventi, al fine di evitare la permanenza nell'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

Il materiale di scavo destinato al riutilizzo sarà accumulato nell'area di deposito appositamente costituita al di fuori della fascia golenale di cui al paragrafo precedente, dove una volta selezionato potrà essere destinato ai rinterri o al trasporto verso i siti individuati nella *Relazione di gestione delle terre e rocce da scavo*.

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 sarà 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 per le strutture della spalla sinistra sarà necessario accedere brevemente dalla strada arginale in sponda sinistra.

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

3.7 INTERFERENZA SULLA VIABILITÀ ESISTENTE

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 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) dell'impianto idroelettrico e della conca di navigazione;
- 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 carroponte di centrale.

3.9 MEZZI DI CANTIERE

È indicativamente previsto l'utilizzo dei seguenti mezzi e attrezzature di cantiere:

- 2 escavatori cingolati
- 1 escavatore cingolato con benna mordente
- 1 pala gommata
- 2 autocarri
- 1 autogrù da 50 t
- 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

Chiaramente, rispetto a questo elenco, potranno esservi lievi variazioni in fase realizzativa, in funzione dell'organizzazione e della disponibilità di mezzi dell'impresa esecutrice.

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, tramite una normale pompa di cantiere a immersione, 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 a 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 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. Nello specifico, è previsto l'impiego di mezzi con motori certificati di classe minima III A con riferimento al *Regolamento UE 1628/2016 modificato dal Regolamento UE 2020/1040*.

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.

Si rimanda allo Studio di Impatto Ambientale per le valutazioni di dettaglio.

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 *Piano di utilizzo di terre e rocce da scavo*, presentato nell'ambito della procedura di VIA.

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 rimanda all'allegata *Previsione di impatto acustico*, relativa sia alla fase esecutiva sia a quella di esercizio dell'impianto.

3.11 QUANTIFICAZIONE DI SCAVI E RINTERRI

Si evince che resteranno circa 45.600 m³ di materiale di scavo in esubero; essi potranno portati nei siti individuati (in via preliminare, in attesa di ottenere l'autorizzazione alla costruzione dell'impianto) nella citata *Relazione sulla gestione di terre e rocce da scavo*. Si precisa che i quantitativi riportati in Tabella 2 sono al netto dello scotico superficiale, che sarà conservato per essere nuovamente posato al termine dei lavori.

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 la parte di materiale che interferisce con lo scarico stesso, per un'altezza di circa un metro; il corrispondente volume di scavo, pari all'incirca a 150 m³, 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.

Attività	Vol. da scavare in situ senza rigonfiamento [m ³]	Vol. scavato rigonfiato [m ³]	Vol. di riporto e ripristino (pre-compattazione) [m ³]	Vol. di riporto e ripristino messi a dimora e compattati [m ³]	Volume in esubero rigonfiato [m ³]	Volume in esubero messo a dimora e compattato [m ³]
Cantiere (fase di lavoro 2)	34.000	43.180	26.025	22.630	17.156	14.918
Centrale e canali	27.481	34.901	7.878	6.850	27.023	23.499
Sbarramento	6.711	8.523	2.370	2.061	6.153	5.350
Scarico di sghiaimento	976	1.240	0	0	1.240	1.078
Passaggio per pesci	470	597	0	0	597	519
Linea elettrica interrata	1.875	2.381	2.156	1.875	225	196
Totale	71.513	90.822	38.428	33.416	52.393	45.559

Tabella 2 – Riepilogo dei volumi di scavo, rinterro ed esubero

3.12 QUANTIFICAZIONE DEI MOVIMENTI DI TERRENO E MATERIALI

Sulla base del computo metrico estimativo, oltre a produrre i **45.559 m³** di materiale di scavo in esubero determinati al paragrafo precedente, la costruzione dell'impianto in progetto richiederà circa **24.390 m³** di calcestruzzo.

Per il trasporto a scarica del materiale derivante dagli scavi saranno utilizzati autocarri da 32 t, con carico utile pari a 20 t, vale a dire a circa 12 m³ di portata. Saranno pertanto necessari poco meno di **3.800** viaggi (45.559 m³ / 12 m³/viaggio) per il trasporto del materiale di scavo ai siti di destinazione.

Ipotizzando di utilizzare 2 autocarri per il trasporto e considerando pari a 60 minuti le operazioni di carico, trasporto e scarico del materiale, in una giornata lavorativa di 8 ore possono essere effettuati 16 viaggi e recapitati a scarica 192 m³; per conferire tutto il materiale saranno pertanto necessari circa 237 giorni lavorativi.

Per quanto riguarda il trasporto del calcestruzzo per i getti, invece, considerando di usare autobetoniere con portata a pieno carico di circa 7 m³, per la realizzazione delle opere saranno necessari poco meno di **3.500** viaggi (24.390 m³ / 7 m³) distribuiti su un arco di tempo di circa 18 mesi (durata delle attività per la formazione delle opere di c.a.).

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 palancolati 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 la realizzazione dell'opera è stata suddivisa 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 sghiaamento.

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. Detto taglione sarà realizzato con la tecnica del jet-grouting colonnare a completa interferenza e svolgerà anche la funzione di fondazione della traversa. In fase costruttiva sarà valutata - previa esecuzione delle necessarie verifiche idrauliche e

strutturali - l'opzione di usare un palancolato metallico (a carattere definitivo, a differenza delle palancole infisse nelle ture) al fine di evitare gli oneri e gli impatti ambientali dovuti agli scavi in alveo e all'impiego del calcestruzzo per il taglione.

Il taglione raggiungerà una profondità minima di 12 m sotto il piano della platea di fondazione e s'immorserà per circa 15 m sotto la spalla sinistra. Sul lato destro proseguirà fino a congiungersi con i diaframmi previsti come opere provvisionali 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 provata efficacia, come, ad esempio, i pali infissi.

Nella zona della centrale e della conca di navigazione, 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 fase di progettazione esecutiva, sempre a seguito di tutte le opportune verifiche idrauliche e strutturali di dettaglio, si potrà valutare la riduzione o eliminazione dei diaframmi in favore delle palancole al fine di ridurre gli oneri e impatti degli scavi e della gestione dei fanghi bentonitici.

Ad ogni buon conto, in questa fase, si considera l'impiego dei diaframmi.

In tal modo si potranno eseguire gli scavi profondi sotto falda in sicurezza, limitando al massimo i pompaggi per tenerli asciutti. Inoltre i diaframmi costituiranno le fondazioni profonde del corpo della centrale, evitando cedimenti d'entità incompatibile con il corretto funzionamento del macchinario idroelettrico.

Eventuali altre palificazioni potranno eseguite - secondo necessità - per sostenere parti accessorie dell'impianto, quali il canale di scarico di fondo e il passaggio per i pesci.

5 VERIFICA DELLE TURE

Anche le opere provvisionali 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 TURE 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 stramazzo 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 m³/s) e corrispondenti a condizioni idrologiche in cui saranno già stati sospesi i lavori.

Q fiume [m³/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 TURE 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 m³/s, ovviamente un po’ inferiori rispetto alla prima fase di lavoro ma comunque corrispondenti a condizioni idrologiche di morbida.

p.a. monte [m s.l.m.]	h sfioro soglia [m]	Q sfioro [m³/s]	Q tubi [m³/s]	Q tot [m³/s]	Franco tura [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
34,50	2,00	217	82	299	0,50
34,75	2,25	259	90	349	0,25

5.3 TURE 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 m³/s, inferiori rispetto alla fase

precedente; si tenga però presente che questa situazione ha la durata minore di tutte, 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 stata 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>[m³/s]</i>	<i>Q tubi</i> <i>[m³/s]</i>	<i>Q tot</i> <i>[m³/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
34,50	2,00	0	184	184	0,50
34,75	2,25	0	203	203	0,25

5.4 PASSAGGIO DELLE PIENE

Per le portate di piena - e più in generale per portate maggiori di quelle determinate nei paragrafi precedenti, o che risentono dell'effetto di rigurgito del Po - l'acqua inizierà a tracimare dalla sommità della tura che, essendo costituita di materiale arido compattato ma incoerente, sarà rapidamente asportata dalla corrente, che quindi tornerà a defluire nell'intera sezione dell'alveo.

Di conseguenza le ture in alveo non avranno alcuna influenza sul deflusso delle piene.

Ad ogni buon conto, per completezza di analisi, di seguito si riportano le considerazioni relative alla condizione limite di incipiente innesco del fenomeno di erosione e asportazione delle ture.

In particolare si fa riferimento al passaggio della portata di piena duecentennale del fiume Adda in assenza di rigurgito del Po, analizzata nell'allegata *Relazione idrologica e idraulica* in condizioni di progetto, con lo sbarramento sia abbattuto che totalmente alzato, nell'ipotesi - di fatto assai remota - di malfunzionamento totale dello stesso.

Operativamente sono stati determinati per tentativi i livelli di monte H_M corrispondenti a varie portate fissate nelle tre fasi di lavoro in esame. In particolare i contributi di portata, la cui somma deve dare il valore Q_{fiume} prefissato, sono i seguenti:

- sfioro dalla briglia esistente $Q_{briglia} = \mu \cdot b_{briglia} \cdot \sqrt{2g \cdot (H_M - 32,50)^3}$
- sfioro dalla tura $Q_{tura} = \mu \cdot b_{tura} \cdot \sqrt{2g \cdot (H_M - 35,00)^3}$
- portata defluente dai tubi $Q_{tubi} = N_{tubi} \cdot c_C \cdot \pi \cdot D_{tubi}^2 / 4 \cdot \sqrt{2g \cdot h_G}$

In queste formule il battente h_G sul baricentro dei tubi è funzione del livello (incognito) a monte, mentre le larghezze della briglia e della tura ($b_{briglia}$ e b_{tura}) assumono valori diversi a seconda delle fasi di lavoro, come poc'anzi illustrato.

Facendo variare il livello di monte H_M in modo che la somma delle portate sia pari al valore Q_{fiume} fissato, sono stati trovati i valori riportati nella tabella seguente.

Q fiume [m³/s]	h fase 1 [m s.l.m.]	h fase 2 [m s.l.m.]	h fase 3 [m s.l.m.]
120	33,35	33,57	33,84
150	33,48	33,72	34,11
200	33,69	33,99	34,70
250	33,88	34,25	35,18
300	34,06	34,51	35,38
350	34,23	34,75	35,55
400	34,39	34,99	35,70
450	34,55	35,17	35,84
500	34,70	35,32	35,97
600	34,98	35,59	36,22
800	35,45	36,04	36,65
1.000	35,85	36,44	37,04
1.500	36,71	37,31	37,89
1.940	37,39	37,98	38,56
2.000	37,47	38,07	38,65

Si può quindi istituire il confronto con le precitate modellazioni idrauliche di progetto, che danno i seguenti livelli a monte della traversa con $Q_{200} = 1.1940 \text{ m}^3/\text{s}$ in Adda:

- 36,20 m s.l.m. allo stato di fatto;
- 36,20 m s.l.m. in condizioni di progetto con sbarramento tutto abbattuto;
- 37,47 m s.l.m. con sbarramento tutto alzato.

L'effetto temporaneo (cioè nella condizione limite di incipiente erosione e asportazione) delle ture è quindi un innalzamento di livello di ~1-2 metri, a seconda della fase di lavoro.

Inoltre, dal confronto con la tabella sopra riportata, si evince che, come è logico, i medesimi livelli idrici si instaurano con portate minori nelle fasi di lavoro in cui è parzialmente occupato l'alveo; in particolare le portate corrispondenti alle situazioni di progetto (sbarramento tutto abbattuto) e di emergenza (sbarramento tutto alzato) sono le seguenti.

- Prima fase: situazione di progetto con ~1.200 m³/s e d'emergenza con 2.000 m³/s
- Seconda fase: situazione di progetto con 875 m³/s e d'emergenza con 1.600 m³/s
- Terza fase → situazione di progetto con ~600 m³/s e d'emergenza con ~1.250 m³/s.

Più in dettaglio, la tabella seguente riporta i valori esatti della portata Q_{fiume} corrispondenti alle situazioni idrologiche modellate per le varie fasi di lavoro previste in alveo.

Modellazione (Q_{200} Adda)	Livello di monte H_M [m s.l.m.]	Fase 1 Q_{fiume} [m³/s]	Fase 2 Q_{fiume} [m³/s]	Fase 3 Q_{fiume} [m³/s]
Stato di fatto e progetto	36,20	1.195	875	595
Emergenza	37,47	2.000	1.600	1.245

5.5 CONCLUSIONI

Riassumendo le considerazioni dei paragrafi precedenti, 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 la ture saranno rimosse procedendo in senso opposto, come rappresentato nelle allegate tavole di cantiere.

In caso di piena, ovvero di portate maggiori di quelle determinate ai paragrafi precedenti, le ture saranno rapidamente asportate dalla corrente, quindi non avranno alcun influenza sui livelli e sulle condizioni di deflusso.

Poiché le condizioni di piena si instaurano gradualmente, vi sarebbe tutto il tempo di sospendere i lavori, pertanto non vi sono problemi neanche dal punto di vista della sicurezza delle persone.

In definitiva, le ture provvisorie sono verificate sia dal punto di vista della compatibilità idraulica che della sicurezza del cantiere.



Tel: +39 030 3702371 – Mail: info@frosionext.com - Sito: www.frosionext.com
Via Corfù 71 - Brescia (BS), CAP 25124
P.Iva e Codice fiscale: 03228960179