



DIVISIONE INGEGNERIA E INNOVAZIONE

AREA DI BUSINESS - SVILUPPO E REALIZZAZIONE IMPIANTI

SVILUPPO

CENTRALE TERMOELETTRICA DI "LA CASELLA"

PROGETTO PRELIMINARE

INTERVENTI SULL'OPERA DI PRESA

PER BASSI LIVELLI DEL FIUME PO

RELAZIONE TECNICA

LC0.CC.IA.SVL.401

23 Maggio 2008

1. DESCRIZIONE DELLA SITUAZIONE ATTUALE	3
1.1 GENERALITÀ	3
1.2 SISTEMA DI POMPAGGIO ATTUALE	3
1.3 INQUADRAMENTO DEL PROBLEMA	4
1.4 SOLUZIONI ADOTTATE FINO AD OGGI	5
1.5 LIVELLI DI RIFERIMENTO	5
2. ANALISI DEL SISTEMA NELLE CONDIZIONI ATTUALI	7
2.1 PUNTI DI FUNZIONAMENTO DEL SISTEMA NELLE VARIE CONFIGURAZIONI	7
2.1.1 Punto di funzionamento del gruppo 3 (misurato)	7
2.1.2 Punto di funzionamento del gruppo 3 (calcolato)	7
2.1.3 Punto di funzionamento del gruppo 4	7
2.1.4 Interventi di revisione effettuati sulla pompa AC 3	7
2.2 VERIFICA A CAVITAZIONE	8
2.3 VERIFICA DELL'INSORGENZA DI VORTICI IN ASPIRAZIONE	8
2.4 GRIGLIE FISSE CON SGRIGLIATORI MOBILI	8
2.5 CONCLUSIONE	9
3. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	10
3.1 INSTALLAZIONE DI POMPE BOOSTER	10
3.1.1 Descrizione e schema di principio	10
3.1.2 Descrizione della configurazione finale	10
3.2 MODALITÀ REALIZZATIVE	11
3.2.1 Continuità di esercizio dell'impianto esistente	11
3.2.2 Apparecchiature e prestazioni previste	11
3.2.3 Fasi Esecutive	12
3.2.4 Descrizione di alcuni interventi su sistemi ausiliari di impianto	15
3.3 FABBISOGNO DI RISORSE	16
3.4 MODALITÀ DI FUNZIONAMENTO DELLE NUOVE POMPE BOOSTER	17
3.4.1 Criteri di dimensionamento	17
3.4.2 Avviamento delle pompe booster	17
3.4.3 Regolazione del sistema	18
3.4.4 Metodologie di filtraggio dell'acqua	19
3.4.5 Manutenzione del sistema	19
3.5 TEMPI DI ESECUZIONE DELL'INTERVENTO	20
4. CONCLUSIONI	21
5. ALLEGATI E FIGURE	22
5.1 ALLEGATI	22
5.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	22
5.3 FIGURE	22

1. DESCRIZIONE DELLA SITUAZIONE ATTUALE

1.1 GENERALITÀ

La Centrale di "La Casella" si trova nel Comune di Castel San Giovanni (Piacenza) ed occupa una superficie di circa 350.000 m² lungo la sponda destra del fiume Po, come mostrato nell'allegato **[A1]**.

La Centrale è costituita da 4 moduli in ciclo combinato 1+1 in configurazione multi shaft da circa 380 MW ciascuno, raffreddati in ciclo aperto con l'acqua del fiume Po prelevata tramite un'apposita opera di presa.

1.2 SISTEMA DI POMPAGGIO ATTUALE

L'opera di presa è posta sulla sponda destra del Po e si estende per 38,40 m, l'aspirazione di ciascuna pompa è costituita da due inviti (canali) dotati di griglie fisse e sgrigliatori, che si riuniscono a valle di un ulteriore sistema di filtraggio composto da griglie rotanti. La distanza tra la sezione di presa sulla riva e l'asse dell'albero della pompa è di 23,30 m. La pianta e la sezione dell'opera di presa nella attuale configurazione sono mostrate nell'allegato **[A3]**.

La soglia d'ingresso si estende per 5 m in orizzontale nella direzione del circuito idraulico. Alla fine di questo tratto inizia lo scivolo di 6 metri di lunghezza con dislivello di 2 m, al cui termine è posto un condotto, di sezione progressivamente ridotta, che raccorda la sezione rettangolare e quella circolare ($\phi = 1.700$ mm) a monte delle pompe. Le celle sono provviste di gargami per lo scorrimento di panconi atti a garantire, in caso di manutenzione, la messa all'asciutto dell'intera opera. Solette intermedie, piani camminabili, scale ed accessi dall'esterno completano l'opera, che mostra in sommità cabinati di servizio ed un carroponete a scorrimento longitudinale.

Il sistema dell'acqua di raffreddamento di La Casella è costituito da 4 pompe AC (Acqua Circolazione) ciascuna per ogni sezione e di 8 pompe AR due per ogni sezione dalle seguenti caratteristiche nominali:

<i>Pompe acqua circolazione</i>	<i>Unità</i>	<i>VALORE</i>
<i>Costruttore pompe AC</i>		Riva Calzoni
<i>Portata nominale</i>	m ³ /s	8,2
<i>Prevalenza</i>	m	9,85
<i>Potenza assorbita</i>	kW	916
<i>Velocità di rotazione</i>	r.p.m.	253
<i>Quota mezzeria girante</i>	m	47,90
<i>Motore elettrico con riduttore</i>	kW a 1.490 r.p.m.	1.100

Per l'adescamento di ciascuna pompa AC è prevista una apposita pompa del vuoto che aspira da un passo d'uomo situato al termine della voluta della pompa AC stessa.

Le pompe AC dei gruppi 1 e 2 possono raffreddare indifferentemente il proprio condensatore, quello dell'altro gruppo od entrambi, la stessa situazione vale per le pompe dei gruppi 3 e 4 grazie a collettori valvolati che interconnettono due a due le condotte di mandata all'interno dell'opera di presa.

1.3 INQUADRAMENTO DEL PROBLEMA

La presente relazione tecnica ed il progetto in essa descritto si sono resi necessari a seguito delle problematiche insorte in conseguenza del forte abbassamento del pelo libero medio del fiume Po, conseguente alla progressiva diminuzione della portata idraulica del fiume, ed al graduale abbassamento del fondo dell'alveo dovuto a fenomeni di erosione.

Ad inizio 2007 è stata condotta una campagna batimetrica estesa per un tratto di 3,5 km di lunghezza a cavallo dell'opera di presa ed interessante una fascia larga circa 80 m in prossimità della sponda destra. Le misure hanno evidenziato un andamento fortemente irregolare dell'alveo con quota di circa 43,50 m s.l.m. a ridosso dell'opera di presa, la cui soglia d'ingresso è posta a 45,40 m s.l.m.. Successivamente in direzione trasversale all'asta fluviale si nota un ulteriore abbassamento fino a quota 42,00 m s.l.m. per poi risalire gradatamente. Il livello dell'alveo nello stesso ambito, sul filo della sponda destra, è indicato negli elaborati di progetto originari dell'opera in 47,00 m s.l.m..

Il livello del pelo libero del fiume sul fronte dell'opera di presa, dimensionata a progetto per una quota minima del pelo libero di 48,85 m s.l.m., è sceso, durante l'estate del 2003, a circa 47 m s.l.m..

Il basso livello del fiume in aspirazione delle pompe AC può causare essenzialmente due tipi di problemi:

- Cavitazione;
- Formazione di vortici in aspirazione.

Per tale ragione le pompe sono protette da un segnale di livello a monte che ne provoca lo scatto (e quindi il conseguente scatto dell'intero gruppo) quando il livello del fiume scende al di sotto di una quota prestabilita.

In passato la centrale è riuscita ad evitare lo scatto delle pompe AC per basso livello con l'ausilio di alcuni interventi provvisori (descritti nel seguito del documento). Le mutate condizioni ambientali registrate negli ultimi anni, in particolare la diminuzione della portata idraulica del fiume e l'incremento dei fenomeni di erosione, potrebbero portare il livello del fiume, già attualmente al limite, al di sotto della soglia di scatto delle pompe AC. Negli ultimi anni, peraltro, si evidenzia che questa situazione di criticità, che si riteneva eccezionale, tende a verificarsi sempre più frequentemente, rendendo necessario risolvere il problema in modo strutturale, evitando il ricorso agli interventi provvisori e/o temporanei effettuati fino ad ora.

1.4 SOLUZIONI ADOTTATE FINO AD OGGI

Fino ad oggi non si è mai arrivati allo scatto delle pompe AC. A ciò hanno contribuito le seguenti misure provvisoriale adottate dalla centrale:

- Appostamento del livello di scatto delle pompe AC a valori progressivamente inferiori: da 47,60 m a 47,30 m ed a 47,00 m (livello in vasca pompe, circa 30 cm inferiore al livello del fiume). Successivamente, grazie all'ausilio di prove in vasca (in cui l'abbassamento del pelo libero veniva creato con perdite di carico indotte artificialmente, e veniva verificata sia visivamente che strumentalmente - vibrazioni - l'eventuale insorgenza di vortici); l'appostamento è stato ulteriormente ridotto a livelli, variabili da gruppo a gruppo, intorno ai 46,70 m;
- Costruzione in alveo, a valle dell'opera di presa, di uno sbarramento provvisoriale in pietrame, per i soli periodi di magra, in grado, grazie al rigurgito a monte, di elevare di circa 30 cm di battente in aspirazione alle pompe AC.

A tal proposito, in data 6 giugno 2007 l'Autorità di Bacino del Fiume Po ha comunicato: "[...] preso atto di quanto comunicato da parte di Enel in relazione all'avvio della progettazione della nuova opera di presa che consentirà di risolvere il problema dell'approvvigionamento idrico della centrale durante gli eventi di magra del fiume Po, si esprime parere di compatibilità favorevole in relazione all'intervento provvisoriale che ancora per quest'estate potrebbe essere necessario realizzare in via d'urgenza nel caso in cui i livelli di magra del Po non garantissero il battente minimo di aspirazione delle attuali pompe [...]". La comunicazione in questione è citata come documento di riferimento [R1].

Nei periodi di magra le operazioni di esercizio operate prima di incorrere nei fuori servizio sono quelle di ridurre le portate mediante la parziale chiusura delle valvole alle casse acqua dei condensatori, e/o attraverso l'apertura parziale del sifone d'argine.

1.5 LIVELLI DI RIFERIMENTO

Livelli di riferimento (vedi figura [F1])

Soglia inferiore dell'opera	45,40
Punto più basso del fondo gomito di aspirazione	43,60
Punto più basso del cielo gomito di aspirazione	45,50
Centerline della girante delle pompe	47,90
Top del condensatore	60,46
Soglia stramazzo allo scarico	48,65

Livelli fiume/alveo di progetto (vedi figura [F1])

Massima assoluta	58,70
Massima normale	56,00
Magra normale	50,70

Minima normale	49,00
Minima assoluta	48,85
Fondo alveo	47,00

Livelli fiume/alveo attuali

Minima assoluta	46,97
-----------------	-------

Il livello minimo assoluto è stato raggiunto durante l'estate 2003. In tale occasione era attiva la misura provvisoria costituita dal pennello in pietra, descritto al paragrafo precedente, capace di elevare di circa 30 cm il livello del pelo libero.

Il livello del fiume è misurato con unico bubbolatore posto in corrispondenza della seconda canaletta del gr 4 prima delle griglie fisse, un secondo misuratore si trova a valle della griglia fissa e un terzo a valle delle griglie rotanti, i segnali del livello fiume, dei 3 griglie rotanti e della portata della pompa AC sono riportati in sala manovra.

2. ANALISI DEL SISTEMA NELLE CONDIZIONI ATTUALI

2.1 PUNTI DI FUNZIONAMENTO DEL SISTEMA NELLE VARIE CONFIGURAZIONI

Per la verifica dei punti di funzionamento delle pompe AC, sono stati presi ad esempio due gruppi:

- Il gruppo 3 in quanto presenta una pompa revisionata nel 1997, e quindi con prestazioni migliori;
- Il gruppo 4 in quanto presenta una pompa non revisionata.

2.1.1 Punto di funzionamento del gruppo 3 (misurato)

Da rilievi effettuati in campo da sala manovre sul gruppo 3, con livello fiume pari a 48,00 m e livello in vasca pompe pari a 47,70 m si ha il seguente punto di funzionamento della pompa AC:

$$Q_{ac} = 8,97 \text{ m}^3/\text{s}; H_{tot} = 9,90 \text{ m.}$$

Questo punto di funzionamento, sul diagramma portata-prevalenza si trova in una zona più performante rispetto alla curva caratteristica originale della pompa AC (in conseguenza della revisione operata nel 1997 - vedi figura [F2]).

2.1.2 Punto di funzionamento del gruppo 3 (calcolato)

Per quanto riguarda il gruppo 3, ai fini della verifica a cavitazione, è stato calcolato un secondo punto di funzionamento, in accordo alle prestazioni della pompa misurate (di cui al § precedente), ma con livello a monte più basso (47,00 m livello fiume - 46,70 livello in vasca).

$$Q_{ac} = 8,50 \text{ m}^3/\text{s}; H_{tot} = 10,60 \text{ m}$$

2.1.3 Punto di funzionamento del gruppo 4

Da rilievi effettuati in campo da sala manovre sul gruppo 4, con livello fiume pari a 47,30 m e livello in vasca pompe pari a 47,00 m si ha il seguente punto di funzionamento della pompa AC:

$$Q_{ac} = 8,20 \text{ m}^3/\text{s}; H_{tot} = 9,85 \text{ m}$$

2.1.4 Interventi di revisione effettuati sulla pompa AC 3

Sulla pompa AC del gruppo 3, che ad oggi risulta essere più performante delle altre, nel 1997 furono effettuati i seguenti interventi:

- Supervisione per smontaggio e rimontaggio in loco;
- Smontaggio della girante dall'albero in officina Riva;
- Riporto sulle pale per ripristino gioco con la voluta;
- Fornitura della parte conica della voluta.

Il time scheduling dell'interventi è stato il seguente:

- 3 settimane per rimozione motore e riduttore a cura Enel;
- 1 settimana per rimozione della pompa a cura Enel con supervisione Riva;

- 2 settimane per rimontaggio della pompa a cura Enel con supervisione Riva;
- 2 settimane per rimontaggio riduttore e motore a cura Enel.

2.2 VERIFICA A CAVITAZIONE

La cavitazione consiste nell'abbassamento locale della pressione di un liquido, ad un valore inferiore alla tensione di vapore del liquido stesso, con conseguente cambiamento di fase da liquido a vapore.

La cavitazione nelle pompe avviene sull'estradosso delle pale, all'ingresso della girante, laddove la perdita di carico in aspirazione rende minima la pressione assoluta del fluido. I danni dovuti alla cavitazione si presentano sull'estradosso palare, laddove avviene la vaporizzazione del fluido, ma soprattutto nella zona dell'intradosso, dove le bolle si condensano ed implodono per via della pressione ivi raggiunta.

Le collisioni delle molecole del liquido producono colpi che possono raggiungere pressioni di 1.000 kPa/cm^2 , per cui la coesione del materiale viene distrutta. Questi colpi causano un rumore caratteristico - simile al passaggio di ghiaia - e la vibrazione della pompa.

In figura [F2] sono riportati i tre punti di funzionamento di cui sopra (in blu i punti relativi al gruppo 3, in rosso il punto relativo al gruppo 4) sul grafico originale del costruttore delle pompe. Si verifica che nei tre punti di funzionamento esaminati il margine sull' $NPSH_R$ è di circa 1 m, si può affermare quindi che, con livello del fiume di 47m, le pompe lavorano in condizioni di sicurezza per quanto riguarda la cavitazione.

2.3 VERIFICA DELL'INSORGENZA DI VORTICI IN ASPIRAZIONE

La formazione di vortici dipende dalla geometria e dall'idraulica della vasca. Il fenomeno comporta l'ingresso di aria nella girante della pompa, con conseguenti vibrazioni di elevata entità e particolarmente dannose per la macchina.

Una verifica di questo fenomeno viene svolta attraverso il parametro della sommergezza; note le geometrie dei condotti di aspirazione e del tipo di pompa si calcolano le velocità nei vari tratti del condotto di aspirazione e con l'uso di appositi diagrammi e formule sperimentali si valuta il livello minimo nella vasca di aspirazione che evita la formazione dei vortici.

Da calcoli preliminari effettuati risulta che, con riferimento ai minimi livelli riscontrati, il margine residuo rispetto alla soglia di scatto, sulla formazione di vortici in aspirazione è di pochi centimetri.

2.4 GRIGLIE FISSE CON SGRIGLIATORI MOBILI

Le griglie fisse e gli sgrigliatori mobili lavorano al di fuori del campo di progetto. Le sezioni d'acqua interessano solo la parte inferiore delle griglie con velocità di ingresso non consigliate.

2.5 CONCLUSIONE

Per le ragioni espresse nei paragrafi precedenti, l'ulteriore abbassamento del livello del fiume al di sotto dei 47,00 m s.l.m., non è ritenuto compatibile con il sistema di filtrazione/pompaggio esistente. Si è reso pertanto necessario predisporre un progetto di intervento sull'opera di presa come descritto nel seguito del presente documento.

3. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Il progetto di intervento sull'opera di presa prevede l'installazione di pompe booster aggiuntive come di seguito descritto. La planimetria generale in allegato [A4], mostra le aree di intervento e le aree di cantiere previste per l'esecuzione dell'opera.

3.1 INSTALLAZIONE DI POMPE BOOSTER

3.1.1 Descrizione e schema di principio

L'intervento risolutivo individuato consiste nell'installazione di pompe "booster" immerse nel corso d'acqua sul fronte dell'opera di presa, atte a sollevare il livello in vasca pompe di ca. 2 m, in modo da consentire l'esercizio in sicurezza delle pompe AC esistenti, assicurando al contempo il corretto funzionamento delle griglie.

Lo schema di principio del sistema è riportato in figura [F3].

Le pompe adatte per questo tipo di applicazioni - applicazioni a bassa prevalenza ed elevata portata - sono pompe ad elica sommergibili, tipicamente utilizzate per uso idrovoro ed in agricoltura per sollevamento di livello.

Il tipico schema di installazione di questo tipo di pompe è ad asse verticale, intubate, come rappresentato in figura [F5].

Data la difficoltà esecutiva dei lavori civili in acqua, la soluzione individuata conta sulla minimizzazione delle opere in calcestruzzo armato, a favore dell'utilizzo di strutture in carpenteria metallica (corpo di aspirazione, tubo contenitore e diffusore di mandata) che possono essere più facilmente montate con l'ausilio di un nuovo carroponte appositamente costruito.

Il sistema pompe booster è principalmente costituito da:

- Pompe e relativi motori elettrici;
- Strutture in carpenteria metallica: corpo di aspirazione ancorato sulla soletta di fondo (che consente il pre-filtraggio dell'acqua a monte delle pompe booster, un corretto invito in aspirazione delle stesse che minimizza le perdite di carico e la tendenza alla formazione di vortici), tubi contenitori delle pompe (per l'ancoraggio delle stesse), diffusori di mandata;
- Accessori vari di completamento.

Le apparecchiature per poter essere ancorate sul fondo necessitano di una soletta in calcestruzzo armato gettata in alveo con le modalità descritte nel seguito.

3.1.2 Descrizione della configurazione finale

Le nuove pompe disposte due per cella, in numero doppio rispetto a quello delle esistenti e con portata dimezzata, sono inserite all'interno di tubi metallici verticali dal diametro di circa 1.400 mm. L'aspirazione dell'acqua, alla quota di circa 42,50 m è agevolata da una struttura in carpenteria metallica

opportunamente sagomata e raccordata, mentre la mandata alla quota di circa 45,40 m, avviene grazie ad un tubo orizzontale (diametro pari a circa 1.200 mm) o da un'asola a sezione rettangolare, entrambi provvisti di diffusore, che nella sezione terminale ha altezza di circa 80÷90 cm e larghezza massima pari a circa 3,40 m, corrispondente alla distanza netta tra i fili interni delle pareti, che delimitano i canali di ingresso.

Al di sopra della sezione terminale del diffusore ed in corrispondenza della quota inferiore di nuovi gargami ha sede una trave metallica ancorata alle pareti, sulla quale verrà appoggiato un pancone necessario ad evitare il ricircolo della portata elaborata dalle booster verso il fiume, garantendo la creazione di un battente appropriato (ca. 2 m) per le pompe AC. Si ritiene sufficiente, allo scopo, limitare l'estradosso del pancone a circa 49,00 m.

La configurazione finale è rappresentata nell'allegato [A4].

3.2 MODALITÀ REALIZZATIVE

3.2.1 Continuità di esercizio dell'impianto esistente

L'intervento considerato è caratterizzato dalla necessità di mantenere l'impianto termoelettrico in esercizio. A tale scopo esso interesserà una cella per volta; la relativa pompa AC sarà ferma nel periodo di intervento (ca. 2 mesi), la corrispondente condotta AC sarà in questo caso alimentata dalle altre tre pompe rimaste in funzione. Ciò sarà possibile tramite la preventiva realizzazione di un condotto di collegamento ϕ 1.600 provvisto di valvola intercettatrice tra le condotte 2 e 3 (tra la condotta 1 e la 2 è già esistente un collegamento valvolato, idem tra la 3 e la 4), in grado di connettere in parallelo tutte le mandate. In assetto di marcia con 3 pompe su 4 gruppi, l'acqua di circolazione su ogni gruppo sarà pari 75% del valore nominale, sufficiente al mantenimento in esercizio della centrale.

La costruzione del collettore potrà essere realizzata sul posto mettendo fuori servizio una linea di un gruppo per volta e realizzando il tronchetto sulla tubazione di acciaio esistente, al tronchetto verrà aggiunto il tratto di collettore con la valvola di intercettazione, successivamente si procederà alle analoghe operazioni sulla tubazione del gruppo vicino. L'intervento può essere svolto in ombra a fermate programmate dei gruppi.

3.2.2 Apparecchiature e prestazioni previste

Il progetto prevede l'approntamento delle seguenti apparecchiature, sistemi, prestazioni:

- N° 8 pompe booster e relativi accessori (inclusi tubi contenitori);
- Opere in carpenteria metallica (corpi di aspirazione dotati di griglie di filtrazione, diffusori di mandata, strutture di ancoraggio, etc.);
- Collettore valvolato di collegamento delle condotte di mandata 2 e 3;
- N° 2 celle a 6 kV in area di Centrale;
- N° 2 cavi a 6 kV da Centrale ad opera di presa;
- N° 2 quadri power center in area opera di presa;
- N° 2 trasformatori MT/BT in aea opera di presa;

- Adeguamento del sistema di controllo (DCS), schede di automazione, cavi segnale;
- N° 8 cavi a 0,4 kV;
- N° 1 cavalletto mobile a servizio delle nuove pompe booster;
- Opere propedeutiche allo svolgimento dei lavori, la cui descrizione dettagliata è riportata al paragrafo 3.2.3;
- Opere civili necessarie all'installazione delle pompe booster, la cui descrizione dettagliata delle fasi esecutive è riportata al paragrafo 3.2.3;
- Spare parts, inclusa una pompa spare.

3.2.3 Fasi Esecutive

La soluzione progettuale individuata produce, con le opere aggiunte, un contenuto ingombro dell'alveo (circa 7 m dal filo dell'opera di presa esistente). Essa è caratterizzata da lavori eseguiti in acqua dai sommozzatori e dall'utilizzazione di opere provvisorie progressivamente rimosse e riposizionate durante lo svolgimento dei lavori lungo il fronte dell'opera di presa. Tali opere provvisorie (palancolati metallici infissi) hanno la duplice funzione di proteggere dalla corrente d'acqua il personale impegnato e di evitare che l'acqua torbida, a causa della rimozione del fondo fangoso, investa il circuito idraulico con il rischio di sporcamento del circuito a valle.

Di seguito vengono descritte le fasi operative mostrate nell'allegato **[A5]**:

Fase 1 (attività propedeutiche)

- Caratterizzazione, mediante prelievo di campioni ed analisi di laboratorio, del terreno oggetto di dragaggio (circa 400 m³) per definire la sua destinazione in funzione delle sostanze chimiche in esso contenute e cioè per stabilirne preventivamente il tipo di destinazione finale;
- Collegamento idraulico tra le mandate dei gruppi 2 e 3;
- Realizzazione di una o più vasche temporanee per l'eventuale accumulo e decantazione delle acque di dragaggio e di quelle relative al getto subacqueo, della capacità totale di circa 2000 m³. Le vasche saranno realizzate all'interno dell'area di centrale, in carpenteria metallica o mediante teli impermeabili di materiale plastico;
- Installazione di una tubazione temporanea del diametro di ca. 200 mm che collegherà l'area di lavoro con la/le vasca/vasche di decantazione. La tubazione sarà collocata al disopra della passerella sopraelevata esistente che collega l'area di centrale con l'opera di presa. In fase di perfezionamento del progetto sarà valutata la possibilità di utilizzo di autocisterne per il trasferimento del materiale alle vasche, o in alternativa di mezzi fluviali o terrestri dotati di idonee attrezzature per la separazione meccanica solido/liquido (quest'ultima soluzione eviterebbe l'installazione delle vasche temporanee in centrale);
- Eliminazione della passerella galleggiante e dei piedritti di guida non più necessaria ed interferente con la soluzione proposta;
- Eliminazione degli attuali parapetti e sostituzione con nuovi provvisti di cancelli sul lato fiume per permettere il passaggio dei materiali sia

- durante la costruzione, che successivamente in caso di manutenzione delle pompe;
- Rilocazione dei pali di illuminazione sull'opera di presa lato fiume e lato griglie, che costituirebbero ostacolo alla corsa del nuovo cavalletto mobile;
 - Fiorettatura della soletta a quota 56,50, realizzazione di 8 asole per la movimentazione di nuovi panconi, posa in opera dell'armatura, posa in opera delle vie di corsa a servizio del cavalletto mobile e getto della soletta;
 - Realizzazione dei panconi e del cavalletto mobile con portata utile di 10 t. Tale cavalletto, necessario per le operazioni di manutenzione delle nuove pompe, sarà anche utilizzato durante le attività di cantiere per la movimentazione dei materiali e delle apparecchiature. Il cavalletto mobile sarà opportunamente zavorrato e vincolato dalle stesse rotaie per evitarne il ribaltamento;
 - Realizzazione dell'edificio quadri elettrici a servizio delle nuove pompe e del collegamento elettrico con la centrale e la Sala Manovre.

Fase 2

- Infissione delle palancole definitive (estradosso a quota 43,50 m per le palancole parallele al corso del fiume, 49,00 m per quelle ortogonali al corso del fiume) sulla porzione d'alveo prospiciente l'opera di presa per una fascia di 7,00 di larghezza secondo un allineamento longitudinale di 37 m circa e cinque trasversali di 7,00 m di lunghezza.

Le palancole verranno infisse per vibrazione mediante vibratore posto su un pontone galleggiante. Il pontone utilizzato sarà di tipo componibile e sarà verosimilmente composto da 6÷8 moduli di dimensioni 12x2,50 m ciascuno, per un ingombro complessivo pari a circa 180÷240 m², e sarà equipaggiato con una gru da circa 60 t. Il pontone sarà di tipo non motorizzato, e per i modesti spostamenti previsti la movimentazione sarà effettuata agendo sulla lunghezza dei cavi di ormeggio ancorati all'opera di presa ed a blocchi di calcestruzzo depositati su fondo alveo e da rimuovere a fine lavori. Il pontone sarà in grado di operare con pescaggio minimo di 1,50 m.

L'equipaggio necessario per la navigazione è di 2 persone, altre persone sono necessarie per le lavorazioni. Per l'infissione delle palancole occorre prevedere un totale di 5 persone.

Il pontone sarà dotato di tutte le certificazioni necessarie per la navigazione. Inoltre dovrà disporre di un sistema di raccolta di eventuali perdite di olio e gasolio, in modo da evitare pericoli di inquinamento.

L'attività di infissione e rimozione delle palancole non sarà di tipo continuativo, ma verrà eseguita per fasi opportunamente posizionate all'interno del programma cronologico complessivo dei lavori. Il pontone sarà permanentemente ormeggiato sul sito per tutta la durata dei lavori.

Fase 3

- Infissione delle palancole provvisionali secondo un profilo ad "L", esterno al precedente (distanziato da esso di circa 1,00 m) con estradosso a quota 49,00 m per consentire lo svolgimento dei lavori con quota massima del pelo libero del corso d'acqua di 48,00 m.

Fase 4

- Esecuzione dello scavo all'interno del perimetro definito dalle palancole definitive da eseguirsi mediante sorbona, date le caratteristiche limose del fondale (è comunque da escludere la rimozione mediante draga a benna per il rischio di danneggiamento dell'opera di presa e difficoltà esecutive legate al dover operare in spazi limitati). Lo scavo sarà spinto fino alla quota di 41,30 m.s.l.m. ed il materiale asportato sarà opportunamente reimpresso in alveo a valle della zona di esecuzione, avendo cura di limitare al massimo l'incremento di torbidità nel punto di restituzione (la reimmissione sarà controllata e regolata da un sistema di monitoraggio dei valori della torbidità). Qualora la caratterizzazione del terreno oggetto di scavo dovesse evidenziare la presenza di materiale inquinante, il materiale dragato sarà fatto decantare nella vasca temporanea realizzata in area di centrale. A decantazione avvenuta, l'acqua separata sarà caratterizzata e, se conforme alla normativa vigente, sarà reimpressa nel fiume Po, mentre in caso di non conformità sarà inviata ad idoneo impianto di trattamento. Il solido sedimentato verrà trasportato a discarica autorizzata. Assumendo un rapporto acqua/solido dei fanghi dragati pari a 10/1, il volume umido dei fanghi estratti è stimabile in ca. 1.000 m³ per ognuna delle 4 celle.
- Regolarizzazione del fondo con l'ausilio dei sommozzatori;
- Posa in opera della gabbia di armatura completamente prefabbricata, operando da fiume mediante pontone e con l'ausilio del cavalletto mobile e dei sommozzatori.

Fase 5

- Posa dei due condotti di aspirazione delle nuove pompe e degli ancoraggi alla gabbia di armatura mediante gru a cavalletto. I condotti di aspirazione saranno sostenuti dalla gru a cavalletto e saranno bloccati lateralmente mediante strutture provvisionali, in modo da controllare la verticalità ed evitare movimenti durante la successiva fase di getto della soletta di fondo. In tale fase sarà necessario l'intervento di sommozzatori per controllare il perfetto posizionamento del condotto di aspirazione e dei relativi ancoraggi nella gabbia delle armature.

Fase 6

- Getto della soletta di fondo con calcestruzzo (idoneo all'impiego in ambiente sommerso) con estradosso a quota 42,50 m mediante pompa immersa in acqua e autobetoniere parcheggiate sull'argine immediatamente a monte dell'opera di presa. Al termine del getto l'acqua contenuta nel perimetro del palancolato provvisionale verrà inviata mediante pompaggio (tramite la stessa sorbona utilizzata per il dragaggio) alla vasca temporanea in area di centrale (ca. 1.000 m³ di

acqua per ciascuna cella). Dopo decantazione, l'acqua verrà analizzata e reimpressa nel fiume Po qualora l'analisi dei campioni non riveli la presenza di inquinanti in misura uguale o superiore ai limiti di legge (in caso contrario verrà inviata ad apposito trattamento), mentre il materiale solido depositato verrà inviato a discarica autorizzata.

Fase 7

- Dopo la maturazione del calcestruzzo della soletta, sarà eseguito un ulteriore controllo di verticalità del condotto di aspirazione e sarà eseguito mediante sommozzatori il serraggio dei tirafondi di ancoraggio; in tale fase sarà possibile eseguire delle piccole correzioni di verticalità agendo sui dadi e controdadi dei tirafondi di ancoraggio.

Fase 8

- Posa in opera dei diffusori, collegamenti e fissaggi alla struttura del taglione dell'opera di presa con tasselli meccanici;
- Posa in opera dei quattro gargami sui setti dell'opera di presa e delle travi a sostegno dei panconi con tasselli meccanici;
- Sigillature tra diffusori e setti.

Fase 9

- Posa in opera delle pompe;
- Realizzazione dei collegamenti elettrici;
- Prove di funzionamento.

All'avvenuto completamento dei lavori relativi alla cella 4 saranno rimosse le palancole provvisorie e ricollocate, per la stessa funzione, in corrispondenza della cella 3. Analogo procedimento è previsto per le successive celle.

Fase 10

- Taglio delle palancole degli allineamenti trasversali a meno del primo, che conserva la funzione di protezione delle apparecchiature di sollevamento dall'urto dei materiali trasportati in galleggiamento dalla corrente. Il taglio sarà eseguito da sommozzatori con cannello ossiacetilenico;
- Rimozione in area di centrale delle vasche temporanee di accumulo e decantazione, e della tubazione temporanea di collegamento.

3.2.4 Descrizione di alcuni interventi su sistemi ausiliari di impianto

Edificio quadri elettrici

Il progetto prevede la realizzazione di un edificio quadri elettrici in zona opera di presa come di seguito descritto.

L'edificio quadri elettrici sarà monopiano di circa 4,00 m di altezza e con dimensioni planimetriche di circa 15,00 x 5,00 m.

Sarà fondato su pali e presenterà il solaio di piano terra, raggiungibile tramite la passerella carrabile esistente, rialzato a quota circa 60,00 m.s.m., in modo da preservare le apparecchiature elettriche in caso di piena.

L'ingresso è posto in corrispondenza del tratto centrale del lato maggiore. Finestre a nastro investono i due prospetti per l'intera lunghezza; esse sono apribili in modo da garantire un sufficiente ricambio d'aria soprattutto durante la stagione estiva. Le tamponature sono in laterizio intonacato sull'interno e sull'esterno. Il pavimento è del tipo flottante (ove richiesto) per permettere un più facile passaggio dei cavi elettrici; all'esterno essi corrono in conduits fino all'opera di presa dove alimentano le nuove pompe. L'edificio quadri elettrici sarà dotato di illuminazione e rilevazione incendi.

La copertura è piana con massetto di pendenza e sovrastante manto di impermeabilizzazione.

Per la realizzazione dell'edificio quadri elettrici si renderà necessaria la realizzazione di ca. 10 pali infissi tramite battitura o trivellazione con circolazione di fanghi bentonitici. In quest'ultimo caso, i fanghi di risulta (ca. 20 m³) verranno interamente recuperati e inviati a discarica autorizzata.

Vie cavi

I collegamenti elettrici tra i quadri a 6 kV di Centrale e l'opera di presa correranno all'intradosso della passerella carrabile esistente e in area di centrale, nei cunicoli cavi esistenti.

I segnali del sistema di controllo saranno veicolati con l'esistente fibra ottica a partire dall'armadio concentratore esistente situato in zona opera di presa.

Area di cantiere

L'area di cantiere occuperà una porzione prossima al piazzale posto posteriormente all'opera di presa. Essa investe una superficie di circa 30 x 20 m, dovendo ospitare un prefabbricato, in cui sono ubicati l'ufficio tecnico ed i servizi (bagni chimici), uno spazio destinato al deposito dei materiali ed al parcheggio degli automezzi. Essa sarà recintata con rete metallica e provvista di due ingressi, uno pedonale ed uno per automezzi.

Segnaletica di sicurezza

Lo specchio d'acqua prospiciente l'opera di presa, interdetto alla navigazione in quanto interessato dalle nuove opere sommerse, sarà segnalato tramite boe galleggianti e cordone di segnalazione.

3.3 FABBISOGNO DI RISORSE

Per l'esecuzione dei lavori sono previsti complessivamente:

- Circa 650 m³ di calcestruzzo, corrispondenti ad un quantitativo di ca. 230 t di cemento e 1.300 t di inerti;
- Circa 65 t di acciaio per le armature;
- Circa 100 t di acciaio per carpenterie metalliche varie (incluse pompe) ed elementi di finitura.

3.4 MODALITÀ DI FUNZIONAMENTO DELLE NUOVE POMPE BOOSTER

3.4.1 Criteri di dimensionamento

Dimensionamento della prevalenza delle pompe booster - La prevalenza delle pompe booster sarà determinata dal minimo livello del fiume che determina lo scatto delle stesse. In tali condizioni limite, il livello creato in vasca pompe dovrà essere tale da permettere il corretto funzionamento delle pompe AC.

In particolare, relativamente alla soluzione descritta al paragrafo 3.2.3, la quota minima a cui è possibile posizionare l'estradosso della soletta in cemento armato è pari a circa 42,50 m. Il getto ad un livello inferiore comporterebbe uno scavo eccessivamente profondo a ridosso dell'opera civile esistente, con il rischio di scalzamento del terreno al di sotto della stessa ed il possibile danneggiamento dell'opera.

La quota di minimo livello in aspirazione delle pompe booster è pari a ca. 2,50 m dal fondo della vasca. Le pompe booster potranno essere quindi tenute in esercizio finché il livello del fiume non scenderà al di sotto dei 45,00 m. In tale condizione, le pompe booster dovranno consentire il battente minimo per assicurare il corretto funzionamento delle pompe AC, cioè almeno 47,00 m in vasca pompe, da cui il valore della prevalenza delle pompe booster pari a circa 2,00 m, già citata in precedenza.

Dimensionamento della portata delle pompe booster - Nota la prevalenza delle pompe booster, la portata sarà calcolata considerando il punto di lavoro con livello fiume a 47,00 m (livello minimo attualmente consentito). In queste condizioni il livello in vasca pompe sarà pari a circa 49,00 m. Tale livello individua un preciso punto di funzionamento delle pompe AC caratterizzato da una portata determinata. La coppia di pompe booster dovrà elaborare tale portata, più un piccolo margine di sicurezza, in condizioni di circuito AC pulito e valvole del condensatore completamente aperte.

3.4.2 Avviamento delle pompe booster

Le operazioni di allineamento delle pompe booster inizieranno quando il livello del fiume scenderà al di sotto di una soglia prestabilita (ad esempio 47,30 m, quota di riferimento attualmente utilizzata dall'esercizio, per iniziare le operazioni di regolazione della portata per non incorrere nei problemi di cavitazione sulle pompe AC).

Prima dell'avviamento delle pompe booster saranno calati i panconi di sbarramento relativi alla cella da avviare. Nel momento dell'avviamento delle pompe la quota del pelo libero del fiume sarà la medesima presente al di là del pancone, questa condizione non può essere mantenuta a lungo per le pompe booster, va quindi fatto in modo che il livello in vasca pompe salga in breve tempo.

A tal fine varie strade possono essere perseguite:

- Parzializzazione delle valvole al condensatore - Questo ridurrà notevolmente la portata elaborata dalle pompe AC, mentre le pompe booster si trovano a lavorare vicino al punto di run-out, e quindi con massima portata elaborabile. Tale situazione transitoria contribuirà ad accelerare il riempimento della vasca pompe stabilendo il livello di lavoro

ottimale per le pompe booster. A questo punto sarà possibile riaprire completamente le valvole del condensatore.

- Arresto della pompa AC - Prima della manovra di arresto è necessario aprire tutte le valvole di collettamento delle condotte di mandata. Una volta fermata la pompa AC relativa alla cella per la quale è previsto l'avviamento delle pompe booster, le 4 condotte di mandata saranno alimentate al 75% dalle 3 pompe rimanenti. A questo punto possono essere calati i panconi di sbarramento ed avviate le pompe booster. Non essendo in esercizio la pompa AC corrispondente, le pompe booster riempiranno in breve tempo la vasca pompe, ed il punto di funzionamento della pompa passerà in modo molto rapido da una condizione prossima al run-out, alla condizione di progetto. Dopodiché sarà possibile effettuare il riavviamento della pompa AC e iniziare la manovra su un'altra cella.

3.4.3 Regolazione del sistema

Il sistema di due pompe booster in serie ad una pompa AC è tale da trovare un punto di equilibrio durante il funzionamento a regime. Il punto di equilibrio del sistema è determinato, per ogni livello del fiume, da quel livello in vasca pompe tale per cui il punto di funzionamento delle pompe booster (due in parallelo) e quello della pompa AC siano caratterizzati dalla stessa portata.

Il punto di equilibrio è stabile. Per ogni piccolo scostamento dal punto di equilibrio, il sistema tenderà automaticamente a riportarsi al punto di equilibrio. In particolare nel caso di una perturbazione tale per cui la portata elaborata dalle pompe AC sia maggiore di quella elaborata dalla coppia di pompe booster il sistema reagirà come segue:

- Il livello in vasca pompe tenderà ad abbassarsi;
- Le pompe booster lavoreranno con una prevalenza geodetica minore di quella iniziale, per cui il loro punto di funzionamento sulla curva caratteristica tenderà a spostarsi a destra, elaborando più portata e tendendo a riaumentare il livello in vasca;
- La pompa AC lavorerà con un battente a monte minore di quello iniziale, il punto di funzionamento si sposterà verso sinistra, la pompa elaborerà meno portata contribuendo a far riaumentare il livello in vasca.

Qualora al contrario si consideri una perturbazione per cui la portata elaborata dalle pompe AC sia minore di quella elaborata dalla coppia di pompe booster:

- Il livello in vasca pompe tenderà ad aumentare;
- Le pompe booster lavoreranno con una prevalenza geodetica maggiore di quella iniziale, per cui il loro punto di funzionamento sulla curva caratteristica tenderà a spostarsi a sinistra, elaborando meno portata e tendendo a riabbassare il livello in vasca;
- La pompa AC lavorerà con un battente a monte maggiore di quello iniziale, il punto di funzionamento si sposterà verso destra, la pompa elaborerà più portata contribuendo a far abbassare il livello in vasca.

In base alle considerazioni precedenti si deduce altresì che il sistema troverà sempre un punto di equilibrio stabile anche al variare delle curve caratteristiche

delle pompe (degradation) e del circuito (sporciamento). Da questo punto di vista il sistema è intrinsecamente sicuro in quanto lo sporciamento riguarderà soprattutto il circuito acqua di circolazione, tendendo a ridurre la portata elaborata dalle pompe AC e spostando il punto di equilibrio più in alto (con riferimento al livello in vasca pompe).

È possibile inoltre, in casi particolari, modificare il punto di equilibrio del sistema mediante vari metodi:

- Sfioro al di sopra dei panconi di sbarramento (possibile principalmente nel transitorio di avviamento quando il livello fiume è maggiore di 47,00 m ed il livello in mandata potrebbe superare la quota di estradosso dei panconi);
- Valvole di parzializzazione della portata al condensatore;
- Sifone d'argine.

3.4.4 Metodologie di filtraggio dell'acqua

Per il pre-filtraggio dell'acqua a monte delle pompe booster sono state previste varie possibilità, alcune di base, altre da approfondire in seguito come possibili implementazioni.

Base

- Griglia fissa applicata alla bocca del corpo di aspirazione, la pulizia della quale potrà essere effettuata tramite un apposito utensile manuale da una piattaforma galleggiante o da un'imbarcazione;
- Dente di fondo all'ingresso del corpo di aspirazione, contro l'ingresso nel condotto di detriti pesanti trasportati dal fiume, ottenuto con palancole con quote di estradosso di 43,50 m (vedi fig. F3);
- Contro-pendenza alla base del corpo di aspirazione, per ostacolare l'accumulo di materiale in sospensione trasportato dal fiume.

Possibili implementazioni

- Sistema di air-jet o water-jet in contro-flusso;
- Pre-griglia estraibile con guide laterali anch'essa applicata alla bocca del corpo di aspirazione (richiede l'infissione di guide laterali metalliche);
- Sorbona mobile aspirante per la pulizia periodica del fondo.

3.4.5 Manutenzione del sistema

L'estrazione della pompa sarà possibile con l'impiego del nuovo carroponte. Prima dell'estrazione dovrà essere aperto il coperchio del tubo contenitore, con l'ausilio di sommozzatori. In caso di manutenzione straordinaria delle opere in carpenteria metallica, sarà possibile l'estrazione completa anche di queste.

Le opere in carpenteria metallica saranno protette mediante idonei sistemi anti-corrosione (ad esempio vernici speciali, anodi sacrificali, etc.).

La manutenzione potrà essere programmata in tutto il periodo di alto livello del Po, in cui il funzionamento delle pompe booster non sarà richiesto.

3.5 TEMPI DI ESECUZIONE DELL'INTERVENTO

Il programma temporale dell'intervento si svilupperà in un periodo totale di circa 12 mesi dall'IPC (Inizio del Programma Cronologico, tre mesi dopo la data di ottenimento dell'autorizzazione all'esecuzione del progetto), fino all'avviamento del sistema di pompe booster.

MESI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
IPC												
Caratterizzazione terreni di dragaggio												
Fabbricazione carroponte												
Installazione e collaudo carroponte												
Disponibilità corpi di aspirazione												
Organizzazione e attività preparatorie												
Infissione palancole definitive												
Lavori sulla prima cella												
Lavori sulla seconda cella												
Lavori sulla terza cella												
Lavori sulla quarta cella												
Fabbricazione/consegna pompe												
Montaggio pompa su cella 1												
Montaggio pompa su cella 2												
Montaggio pompa su cella 3												
Montaggio pompa su cella 4												
Prove definitive												

4. CONCLUSIONI

Tramite la realizzazione degli interventi descritti sarà possibile assicurare il corretto funzionamento del sistema dell'acqua di circolazione dell'impianto esistente per livelli del fiume Po inferiori di ca. 200 cm rispetto al minimo livello di funzionamento dell'opera di presa attuale, garantendo un margine di funzionamento in sicurezza duraturo nel tempo.

Margini maggiori a 200 cm non sono perseguibili a causa della conformazione delle strutture in alveo, per le quali un ulteriore abbassamento della quota d'imposta rischierebbe di compromettere la stabilità dell'opera di presa.

5. ALLEGATI E FIGURE

5.1 ALLEGATI

- [A1] Corografia
- [A2] Planimetria generale e area di intervento
- [A3] Opera di presa situazione attuale - Pianta e sezione
- [A4] Opera di presa situazione futura - Pianta e sezione
- [A5] Opera di presa situazione futura - Fasi esecutive

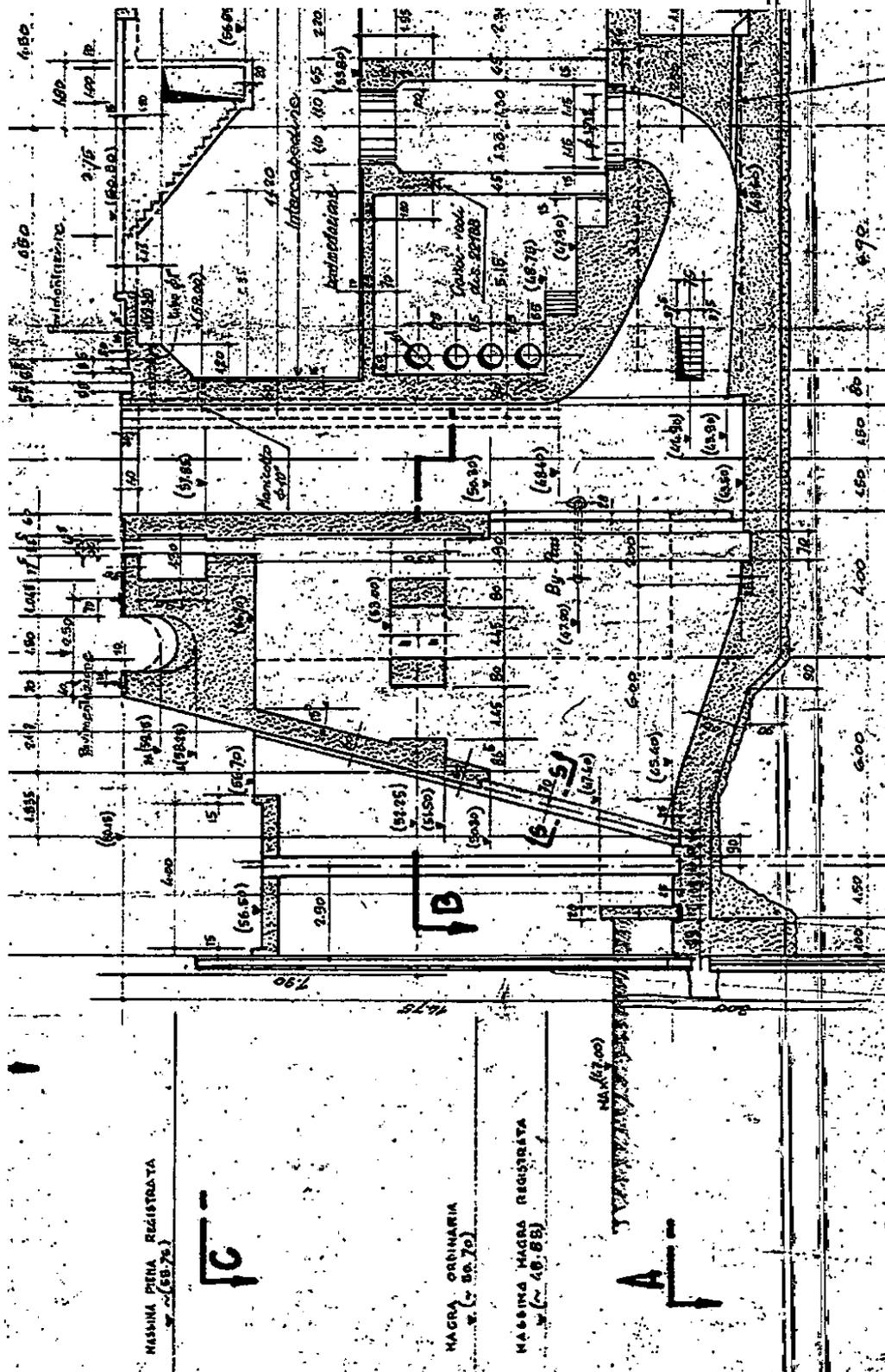
5.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- [R1] Comunicazione dell'Autorità di Bacino del Fiume Po - Prot. N. 2734/CM - 06.06.2007

5.3 FIGURE

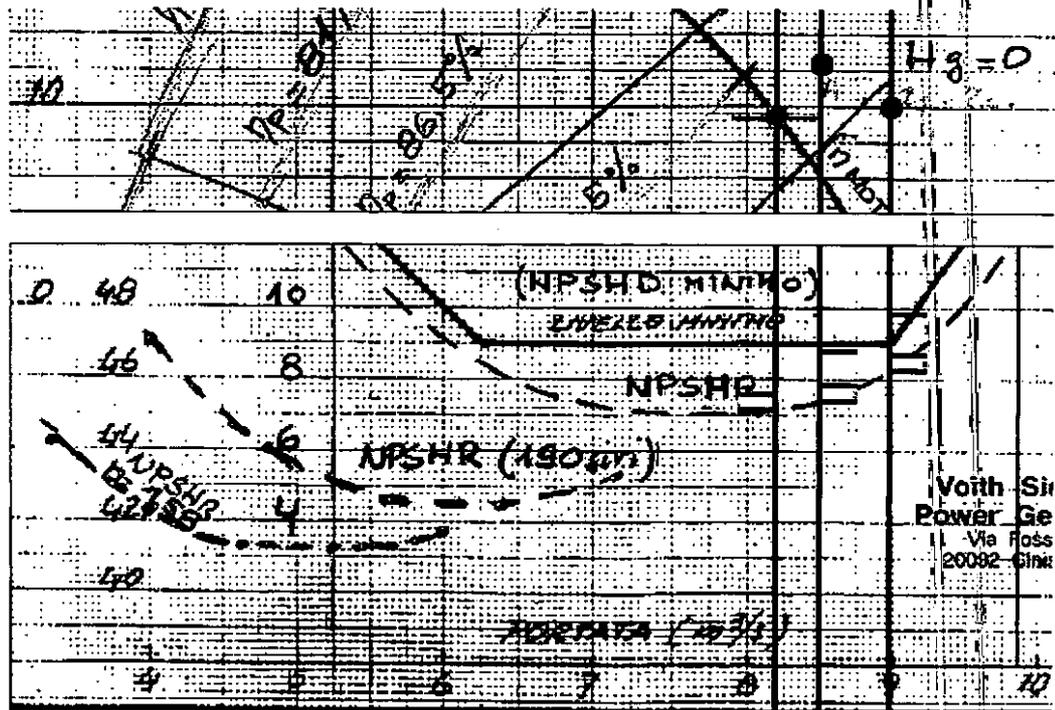
Si riportano nelle pagine successive le figure di riferimento.

[F1] Figura 1



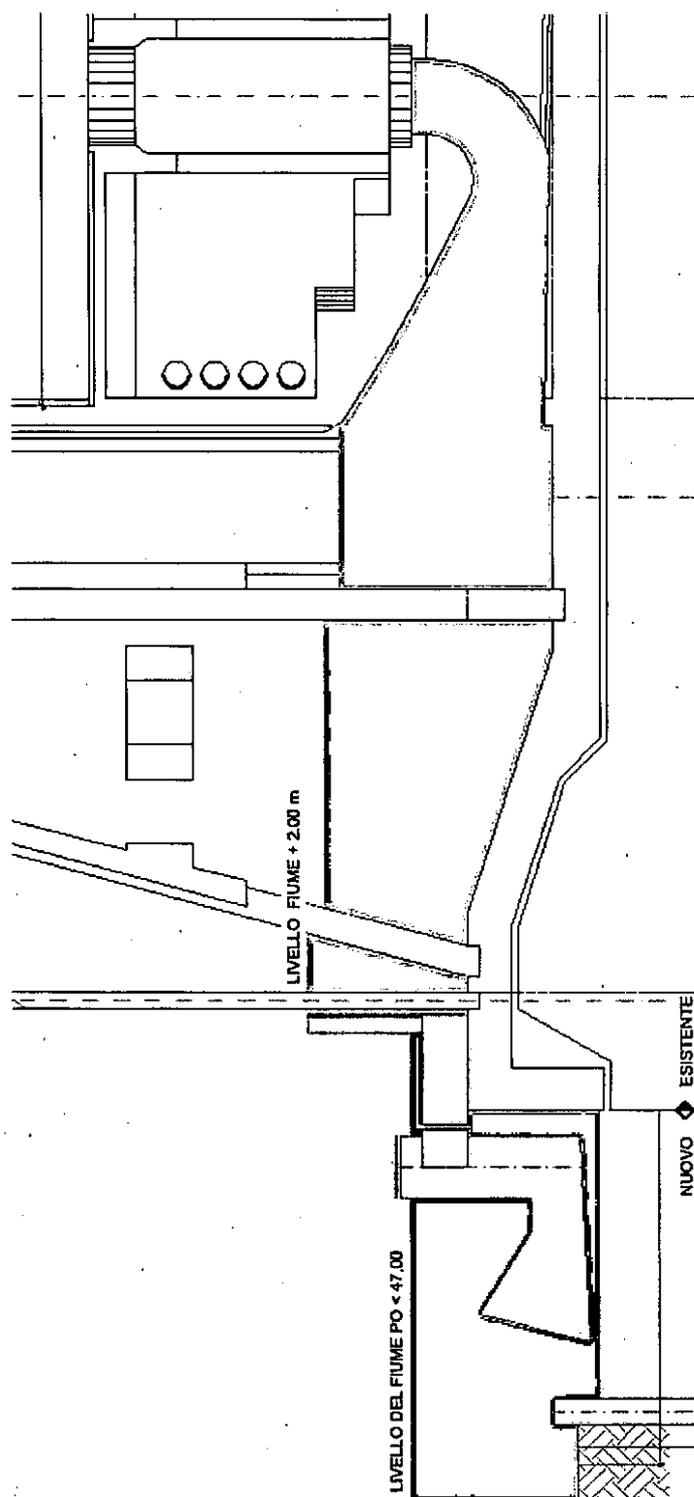
Sezione dell'opera di presa da progetto originale

[F2] Figura 2



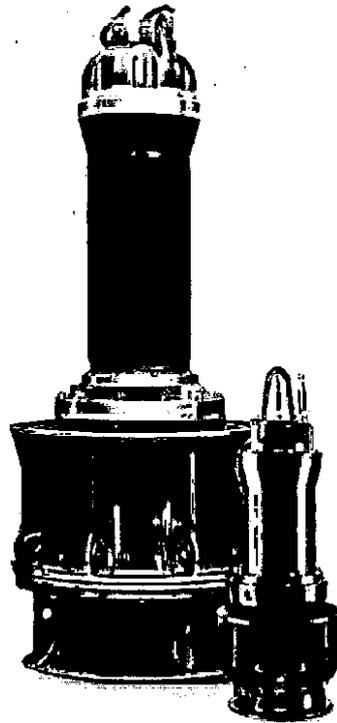
Punti di funzionamento e verifica a cavitazione con riferimento al § 2.2

[F3] Figura 3



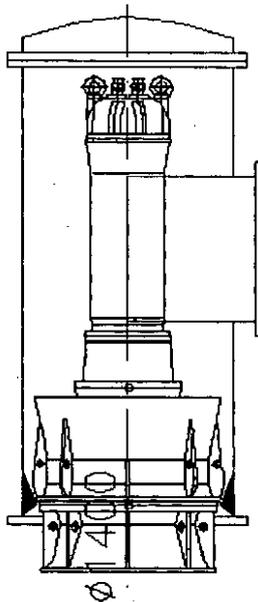
Pompe booster - Schema di principio

[F4] Figura 4



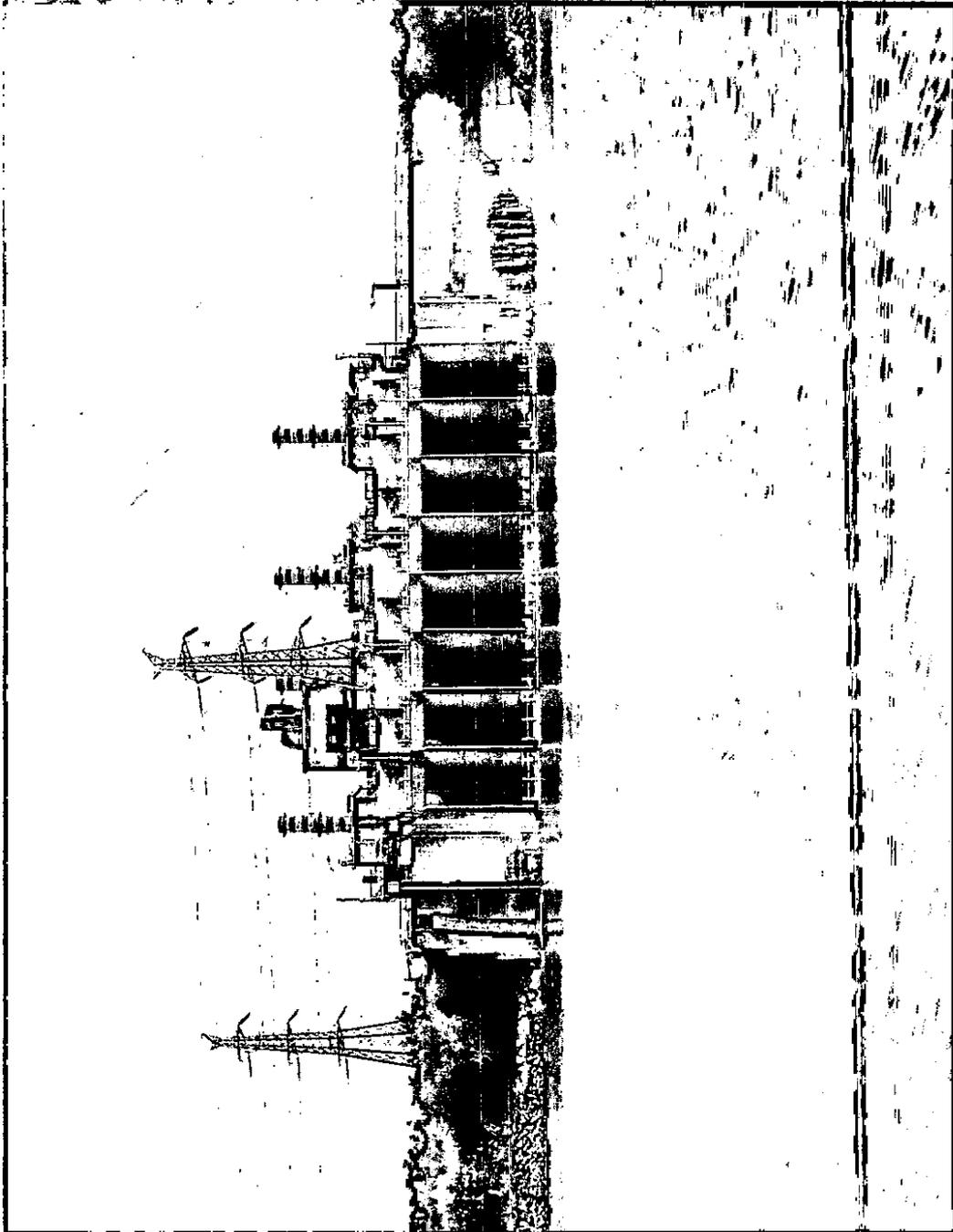
Pompe ad elica

[F5] Figura 5



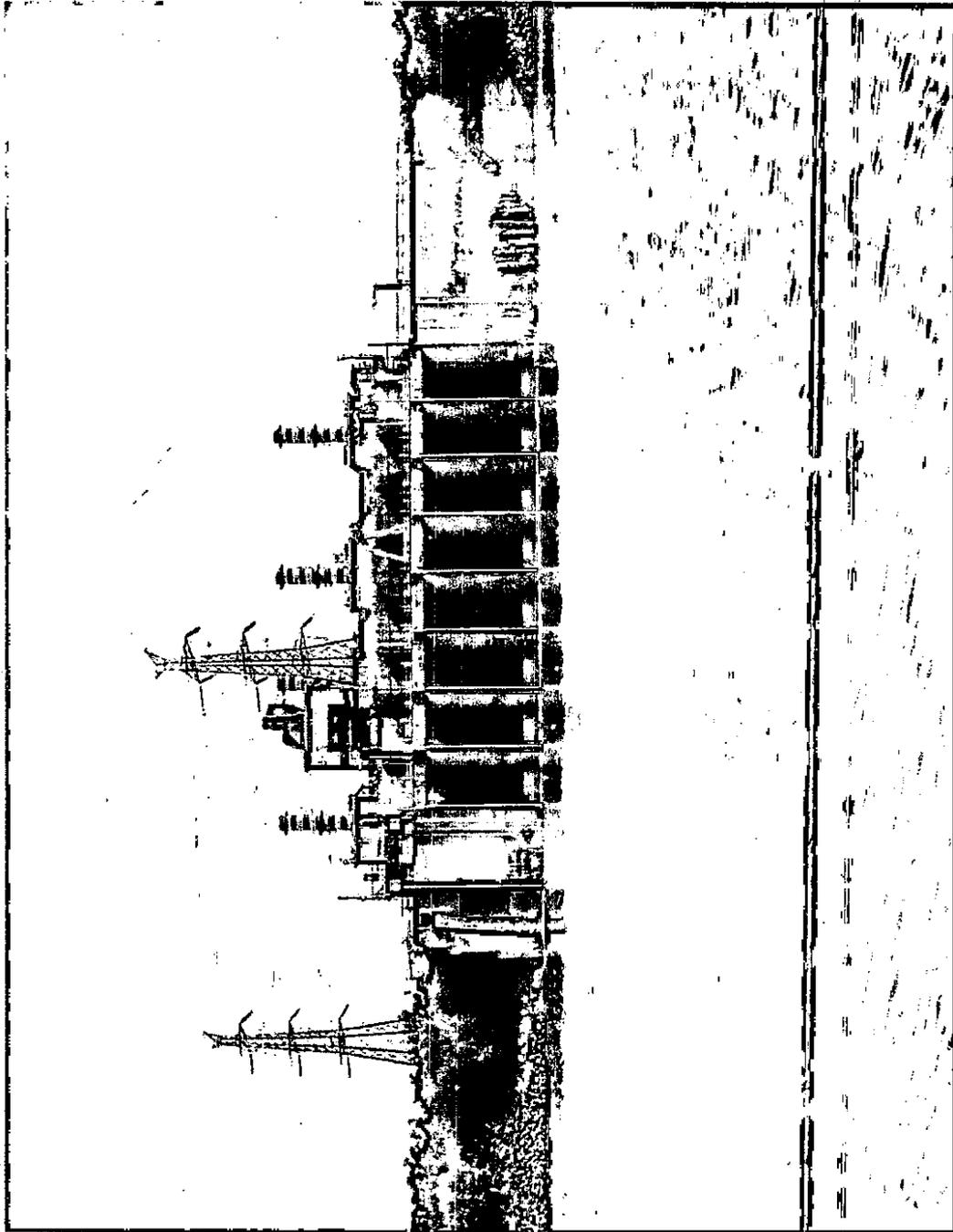
Tipica installazione di una pompa ad elica intubata

[F6] Figura 6



Opera di presa - Stato attuale

[F7] Figura 7



Opera di presa - Fotoinserimento - Funzionamento con pompe booster