

POLITECNICO DI MILANO

Dipartimento di Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio



**ANALISI SU SISTEMI DI
FITODEPURAZIONE DOPO LA
SEDIMENTAZIONE PRIMARIA**

Relatore: Prof. Francesco Ballio

Tesi di laurea di:

Elisa Ferrari Matr. 841930

Anno accademico 2016/2017

Ringraziamenti

Grazie.

Alle persone che sono sempre al mio fianco,
a quelle che non vedo da tempo ma basta un “ciao” e già hanno capito tutto,
a chi mi ha aiutato a crescere
e a chi, nel momento in cui mi vede, “sei sempre la stessa”.

Grazie per essere importanti.

Sintesi

Il presente lavoro è stato svolto per definire come viene organizzata l'attività di cantiere in opere di grosse dimensioni in cui più squadre lavorano contemporaneamente su diversi fronti.

Tutto il lavoro è stato possibile attraverso lo studio della realizzazione di un sistema di affinamento delle acque attraverso la realizzazione di diverse vasche di fitodepurazione presso la società Sud Seveso Servizi Spa. Le opere sono state eseguite da Puricelli Ambiente Verde Srl.

Indice dei contenuti

ANALISI SU SISTEMI DI FITODEPURAZIONE DOPO LA SEDIMENTAZIONE PRIMARIA	I
RINGRAZIAMENTI	I
SINTESI.....	III
INDICE DEI CONTENUTI	V
INDICE DELLE FIGURE.....	VII
INDICE DELLE TABELLE.....	IX
CAPITOLO 1 INTRODUZIONE	11
1.1 L'IMPRESA	11
1.2 IL COMMITTENTE	12
CAPITOLO 2 IL PROGETTO.....	13
2.1 LA FITODEPURAZIONE.....	14
2.1.1 <i>Le tipologie di flusso</i>	16
2.1.2 <i>La normativa</i>	19
2.2 LE OPERE	20
2.2.1 <i>Sistema di filtrazione estensivo</i>	22
2.2.2 <i>Sistema a flusso libero</i>	23
2.2.3 <i>Le specie acquatiche</i>	23
2.2.4 <i>Riqualifica paesaggistica</i>	26
2.3 LE CRITICITÀ.....	28
CAPITOLO 3 IL CRONOPROGRAMMA	31
3.1 LE TEMPISTICHE DI PROGETTO	31
3.2 LE TEMPISTICHE PROPOSTE IN GARA D'APPALTO	32

CAPITOLO 4 LO SVOLGIMENTO DEI LAVORI	35
4.1 IL PRIMO MESE	37
4.2 IL SECONDO MESE	39
4.3 TERZO MESE.....	42
4.4 QUARTO MESE.....	45
CAPITOLO 5 VARIAZIONI IPOTETICHE AL CRONOPROGRAMMA.....	49
5.1 I PUNTI CRITICI	50
5.2 I PUNTI A FAVORE.....	51
CAPITOLO 6 CONCLUSIONI.....	53
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	55
APPENDICE A I CRONOPROGRAMMI COMPLETI	56
A.1 CRONOPROGRAMMA DI PROGETTO	57
A.2 GIUSTIFICATIVO TEMPISTICHE	58
APPENDICE B IL CRONOPROGRAMMA IPOTETICO	59
B.1 VARIANTE AL CRONOPROGRAMMA COMPLETO	60
APPENDICE C IL CRONOPROGRAMMA SVOLTO.....	61
C.1 CRONOPROGRAMMA DELLE LAVORAZIONI SVOLTE.....	62

Indice delle figure

<i>Figura 2.1 Planimetria generale di progetto dell'area destinata alla realizzazione della vasca a flusso sommerso, della vasca a flusso libero e dell'area umida</i>	14
<i>Figura 2.2: Tipologie di specie arboree utilizzabili in un impianto di fitodepurazione (flusso libero)</i>	16
<i>Figura 2.3: schema di un sistema a flusso sommerso orizzontale</i>	17
<i>Figura 2.4: schema di un sistema a flusso sommerso verticale</i>	18
<i>Figura 2.5: schema di un sistema a flusso libero</i>	18
<i>Figura 2.6: situazione dell'area di cantiere prima dell'inizio delle opere</i>	20
<i>Figura 2.7: collegamenti idraulici</i>	21
<i>Figura 2.8: bacini a flusso sommerso verticale</i>	22
<i>Figura 2.9: suddivisione del bacino in differenti livelli e specie acquatiche</i>	23
<i>Figura 2.10: tipologie di Schoenoplectus Lacustris, Menyanthes Trifoliata e Typha Minima</i>	24
<i>Figura 2.11: tipologie di Juncus Effusus, Nymphaea Alba e Lythrum Salicaria</i>	25
<i>Figura 2.12: tipologie di Nuphar Lutea, Iris Pseudacorus e Carex Riparia</i>	25
<i>Figura 2.13: tipologie di Typha Latifolia, Persicaria Amphibia e Phragmites Australis</i>	25
<i>Figura 2.14: area interessata dalla riqualifica della fascia fluviale</i>	26
<i>Figura 2.15: planimetria generale delle riqualifiche ambientali</i>	27
<i>Figura 2.16: mappa indicante scavi e riporti</i>	28
<i>Figura 2.17: posizione dell'interferenza e soluzione proposta</i>	29
<i>Figura 2.18: posizione interferenze con servizi pubblici</i>	30
<i>Figura 4.1: sistema di alimentazione e di derivazione vasca 1</i>	36
<i>Figura 4.2: sistema di alimentazione e di derivazione vasca 2</i>	36
<i>Figura 4.3: posizione del piazzale di manovra per i mezzi impiegati in cantiere</i>	38
<i>Figura 4.4: segnalazioni dei sottoservizi per evitare problematiche legate al passaggio dei mezzi</i>	38
<i>Figura 4.5: stratigrafia da inserire nel bacino e operazione di posa del geotessuto sotto il sabbione di sottofondo</i>	39

<i>Figura 4.6: doppia visione del palo dell'elettricità all'interno del bacino 1</i>	39
<i>Figura 4.7: geomembrana posata sul bacino 2 ed esempio di verifica alla saldatura</i>	40
<i>Figura 4.8: stesa delle tubazioni di drenaggio nel bacino 1</i>	40
<i>Figura 4.9: distribuzione del materiale inerte di riempimento lungo tutta l'area del bacino</i>	41
<i>Figura 4.10: riempimento del bacino 1 con visibili le tubazioni di drenaggio e il primo strato di riempimento</i>	41
<i>Figura 4.11: strati di riempimento completi del bacino 2 e particolare della tubazione magnum a riporto del misuratore li livello</i>	42
<i>Figura 4.12: particolare costruttivo della stratificazione del bacino ed esecuzione dello stesso prima della posa dei tubi</i>	42
<i>Figura 4.13: opere in cemento armato</i>	43
<i>Figura 4.14: opere in cemento prefabbricato con passamuro</i>	44
<i>Figura 4.15: particolare del telo impermeabile di divisione dei sottobacini e relativa lavorazione</i>	44
<i>Figura 4.16: progetto ed esecuzione della stazione di sollevamento dal sedimentatore</i>	45
<i>Figura 4.17: progetto riguardo alla posa di tubazioni sopra o sotto il letto di alimentazione</i>	45
<i>Figura 4.18: progetto per la valutazione della distanza ed esecuzione di scavo e posa della tubatura di diametro 315 e 250</i>	46
<i>Figura 4.19: passatelo per la congiunzione delle tubature in profondità con le tubazioni esterne</i>	47
<i>Figura 4.20: posizione e sequenza per la posa delle tubazioni di diametro 50 mm</i>	47
<i>Figura 4.21: schema di stratificazione del sistema a flusso libero</i>	48
<i>Figura 6.1: palo Enel all'interno del bacino a flusso verticale sommerso</i>	53

Indice delle tabelle

<i>Tabella 1.1: Elenco dei comuni dell'assemblea di Sud Seveso Servizi Spa</i>	12
<i>Tabella 2.1: valori limiti da rispettare allo scarico finale</i>	21
<i>Tabella 2.2: Elenco e quantità delle specie acquatiche utilizzate</i>	24
<i>Tabella 2.3: quantitativi di movimento terra da progetto</i>	28
<i>Tabella 3.1: cronoprogramma da progetto per macro attività</i>	31
<i>Tabella 3.2: diagramma di Gantt da progetto per l'esecuzione delle opere</i>	32
<i>Tabella 3.3: giustificativo tempistiche per macro attività</i>	33
<i>Tabella 4.1: quantità di tubazioni necessarie alle opere</i>	36
<i>Tabella 4.2: quantitativi di geomembrana necessaria alla opere</i>	37
<i>Tabella 5.1: cronoprogramma ipotetico con indicate le dipendenze</i>	49
<i>Tabella 6.1: cronoprogramma dello svolgimento dei lavori al quarto mese di attività, individuante anche le lavorazioni mancanti</i>	54

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE

Questo elaborato di tesi è stato possibile grazie a Puricelli Ambiente Verde Srl. Amministratori, impiegati e operatori hanno fatto sì che potessi avere tutte le informazioni e tutto il materiale necessario alla stesura di questo testo.

Lo studio per la cantieristica e lo sviluppo del cantiere ha avuto inizio fin da ottobre 2016, durante le prime analisi per la manifestazione di interesse per i lavori di “Trattamento dello scolmatore dopo sedimentazione primaria del depuratore di Carimate tramite sistemi di fitodepurazione”.

Le prime valutazioni sono state relative ai requisiti del committente: una valutazione economica dei lavori di fitodepurazione eseguiti nel quinquennio 2011-2015 e un’analisi sulle dimensioni dei bacini già effettuati. E’ seguita un’analisi più dettagliata del progetto, al fine di presentare un’offerta alla gara d’appalto. Nello specifico sono state valutati due ribassi:

- Ribasso percentuale sul costo dell’opera;
- Ribasso sulle tempistiche delle lavorazioni.

1.1 L’impresa

Puricelli Ambiente Verde Srl è un’impresa che da 20 anni si impegna nella realizzazione di ingegneria naturalistica, compensazioni ambientali, consolidamenti, terre rinforzate, gabbioni, riqualificazioni ambientali, rinaturalizzazioni, lavori forestali, architettura del verde e, ovviamente, fitodepurazioni, biolaghi e biopiscine.

Inizialmente lavorando nella provincia di Varese, progressivamente ha ampliato il proprio raggio di azione a buona parte di Lombardia, includendo alcuni lavori in Piemonte e Valle d’Aosta.

L'azienda è certificata SOA nelle seguenti categorie:

- OG1 – edifici civili e industriali
- OG7 – Opere marittime e lavori di dragaggio
- OG8 – Opere fluviali, di difesa, di sistemazione idraulica e di bonifica
- OG13 – Opere di ingegneria naturalistica
- OS22 – Impianti di potabilizzazione e depurazione
- OS24 – Verde e arredo urbano.

Dal 2010 ha iniziato a sviluppare le corrette conoscenze per la realizzazione di impianti di fitodepurazione, impianti che permettono di purificare l'acqua attraverso la capacità delle radici di assorbire gli inquinanti.

Per partecipare all'appalto, è stato necessario indicare tutte le opere analoghe effettuate tra 2011 e 2015 e le grandezze dei bacini realizzate, in modo da dimostrare la propria capacità a gestire un lavoro di grosse dimensioni.

1.2 Il committente

Sud Seveso Servizi Spa è una società fondata nel 1975 con l'obiettivo di fornire un servizio di collettamento e depurazione delle acque in relazione alle necessità dei comuni del comprensorio, garantendo professionalità, efficacia e attenzione alle esigenze delle singole parti.

Viene riportata una tabella con l'elenco dei comuni che compongono l'assemblea della società Sud Seveso Servizi Spa.

Tabella 1.1: Elenco dei comuni dell'assemblea di Sud Seveso Servizi Spa

Comune	
Cantù	Capiago Intimiano
Carimate	Casinate con Bernate
Como	Cucciago
Figino Serenza	Fino Mornasco
Novedrate	Senna Comasco
Vertemate con Minoprio	

CAPITOLO 2

IL PROGETTO

Il progetto esecutivo riprende gli studi di fattibilità di Autorità di Bacino Po riguardo la possibilità di trattare le acque in uscita allo scolmatore a valle dei trattamenti primari e dei sedimentatori dell'impianto di depurazione di Carimate (CO). Una seconda analisi è stata svolta dalla società Iridra Srl di Firenze, in cui viene integrato e aggiornato l'evoluzione dell'impianto a trattare un volume maggiore e limitare i volumi di sfioro.

Il sistema di fitodepurazione proposto si compone da una vasca con flusso sommerso, una vasca a flusso libero con scopo di affinare la capacità depurativa e permettere di trattenere le acque di prima pioggia, e infine un sistema umido ad elevata biodiversità con finalità di elevare il valore ecologico e naturalistico dell'area, rendendo l'impianto capace di mantenere volumi e portate molto maggiori.

Inoltre l'intera opera ha anche effetto di vasca volano: infatti permette di accumulare grossi volumi e restituirli al fiume Seveso in tempi più lunghi, permettendo sia i tempi necessari a un affinamento del processo depurativo sia rendendo la laminazione per acque appartenenti a specifiche onde di piena del fiume.

Ulteriore accorgimento è stato quello di mantenere l'area umida creata anche in periodi di secca, utilizzando le acque in ingresso dal depuratore che permettono una maggiore proliferazione delle specie arboree che sono parte integrante del sistema di affinamento.

Questo metodo di trattamento naturale delle acque permette:

- Un miglioramento delle rese complessive del depuratore;
- Ridotti costi di investimento, di gestione e di energia elettrica per processi analoghi;

la depurazione ed è l'equivalente a un carico organico biodegradabile con richiesta di ossigeno a 5 giorni (BOD_5) per 60 grammi al giorno.

Conoscere gli A.E. serve per dimensionare l'impianto ma è necessario considerare altri fattori per la progettazione:

- Trattamenti preliminari;
- Sistemi di impermeabilizzazione;
- Dimensionamento ammissibile;
- Configurazione geometrica dei bacini;
- Tipologia del materiale di riempimento;
- Alimentazione, regolazione e raccolta del flusso.

Indicativamente, con normali riempimenti in ghiaia di varie granulometrie e sabbia, è possibile dimensionare l'impianto con la formula:

$$A [m^2] = 5 \left[\frac{m^2}{A.E.} \right] * A.E$$

Nel caso si utilizzino ghiaie di origine vulcaniche, è possibile ridurre fino a 3 [$m^2/A.E.$] data la loro maggiore capacità di ritenzione di inquinanti.

Anche la scelta della vegetazione è essenziale per il buon funzionamento dell'impianto, in quanto è protagonista dell'intero sistema di depurazione: infatti la parte sommersa delle specie acquatiche ha sia funzione di filtro, sia la funzione di supporto alla biodiversità nell'acqua.

Le piante acquatiche hanno la capacità di trasportare l'ossigeno dalle parti aeree alla rizosfera, garantendo l'instaurarsi di zone aerobiche in un ambiente anaerobico come le radici: questo permette la riduzione dei volumi reflui attraverso l'assorbimento radicale, la traspirazione fogliare, l'assorbimento e l'asportazione di nutrienti ed elementi tossici e la filtrazione del refluo.

I sistemi di fitodepurazione possono essere classificati sia per la tipologia di flusso che per le essenze vegetali selezionate. Per la tipologia di specie vegetative utilizzate si classificano in:

- Sistemi con macrofite galleggianti;
- Sistemi a macrofite radicate sommerse;
- Sistemi a macrofite radicate emergenti;
- Sistemi misti.

La scelta della tipologia di piante selezionate tiene conto di molteplici aspetti, quali le condizioni climatiche e il sito, le caratteristiche delle acque da trattare e la qualità dell'acqua richiesta dall'effluente. Non di secondaria importanza è la continuità delle specie tra quelle presenti in natura e quelle utilizzate nell'impianto, cercando di limitare l'introduzione di specie alloctone che possano risultare infestanti per le specie autoctone.

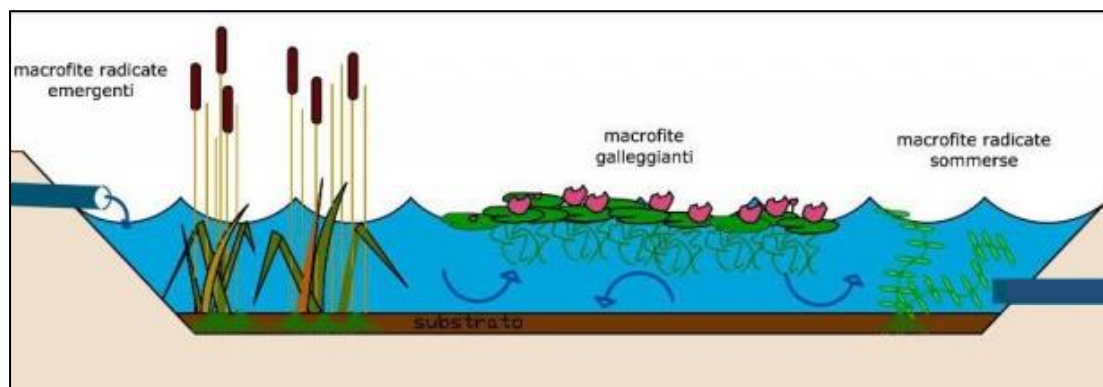


Figura 2.2: Tipologie di specie arboree utilizzabili in un impianto di fitodepurazione (flusso libero)

In generale si possono indicare adatti i sistemi con macrofite galleggianti nei casi di raffinamenti delle acque, dove le acque sono già ben depurate e ossigenate, in quanto le specie usate, chiamate anche idrofite, sono molto sensibili alla presenza di ossigeno nell'acqua.

I sistemi con macrofite radicate sommerse vengono utilizzati con impianti siti in aree la cui escursione termica è notevole: la possibilità di non essere a contatto con l'aria esterna riduce il ciclo vitale della pianta, permettendo di mantenere la capacità depurativa anche nelle stagioni invernali.

I sistemi con macrofite radicate emergenti invece prendono idea dalle situazioni naturali di paludi e rive dei laghi, dove le elofite svolgono la funzione depurante grazie alla presenza di tessuti che trasportano l'ossigeno dalle foglie alle radici, aumentando l'azione depurativa aerobica dei batteri nell'acqua. Questo metodo si adatta bene a quasi tutte le condizioni climatiche.

2.1.1 Le tipologie di flusso

Il metodo più utilizzato per la classificazione dei bacini di fitodepurazione è in base al tipo di flusso presente in esso: si distinguono infatti diverse possibilità di movimento dell'acqua all'interno del sistema.

Possono essere riassunti come:

- Flusso sommerso orizzontale (Subsurface Flow System – Horizontal Flow);
- Flusso sommerso verticale (Subsurface Flow System – Vertical Flow);
- Flusso libero (Free Water Surface).

Le prime due tipologie sono bacini riempiti con materiale inerte ad elevata conducibilità idraulica e macrofite radicate emergenti, mentre il flusso libero è più simile a una zona palustre naturale con l'acqua a diretto contatto con l'atmosfera.

Le diverse tipologie vengono solitamente combinate per ottimizzare la capacità depurativa dell'impianto. Generalmente, per impianti domestici e civili, vengono utilizzati i flussi sommersi (che rappresentano più del 75% degli impianti in Europa), mentre per gli affinamenti dopo depuratori esistenti si predilige il flusso libero.

Queste scelte sono legate a un rapporto costi-benefici: gli impianti a flusso sommerso, nonostante richiedano maggiori opere e materiali, a parità di area, permettono una migliore depurazione delle acque rispetto a un sistema a flusso libero che conduce a risultati efficienti se accompagnato da un pretrattamento (fitodepurazione sommersa, depuratore, vasche di sedimentazione...).

Flusso sommerso orizzontale

Il sistema è costituito da un bacino impermeabilizzato e riempito con inerti di differente granulometria su cui si radicano le macrofite.

Il flusso scorre sotto la superficie, a contatto con le radici e gli inerti: questo permette la degradazione della sostanza organica e azotata contenuta nei reflui, mentre fosforo e metalli pesanti vengono fissati per adsorbimento dal materiale di riempimento.

I sistemi a flusso sommerso assicurano una maggiore protezione termica, soprattutto quando sono frequenti precipitazioni anche nevose.

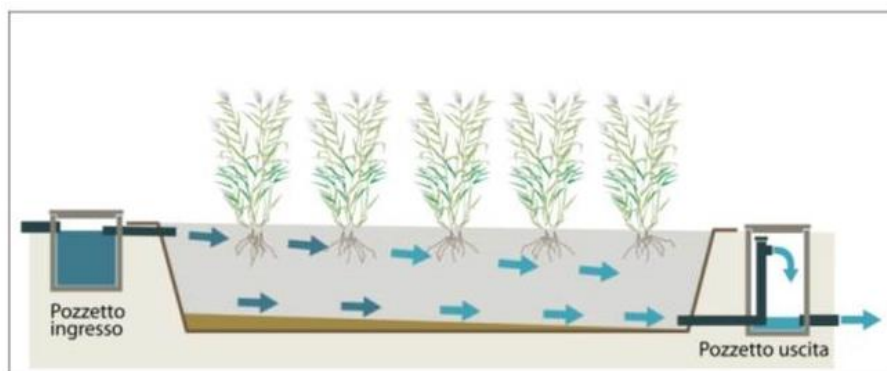


Figura 2.3: schema di un sistema a flusso sommerso orizzontale

Flusso sommerso verticale

Come per il sistema a flusso sommerso orizzontale, il sistema è formato da un bacino impermeabilizzato e riempito con inerti di differente granulometria su cui si radicano le macrofite.

Il refluo viene immerso nel materiale di riempimento in modo discontinuo e seguendo un tratto verticale. L'inerte di questo tipologico é di materiale più fine rispetto a quello precedente, per permettere la percolazione delle acque e una distribuzione omogenea sul

bacino. Si prediligono sabbie grossolane perché hanno una conducibilità idraulica adatta alla filtrazione verticale lenta e avvantaggiano l'attecchimento della biomassa.

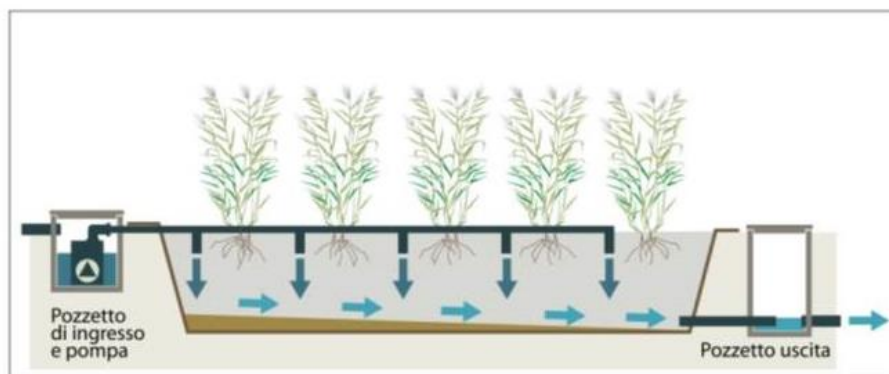


Figura 2.4: schema di un sistema a flusso sommerso verticale

Flusso libero

Il sistema a flusso libero è formato da un bacino o un canale impermeabilizzato (naturalmente o artificialmente) in cui il livello dell'acqua è mantenuto sopra lo strato di inerte.

Il flusso è indirizzato sia dalla pendenza di fondo che da un percorso che si differenzia tra zone: quelle con bassa profondità presentano una bassa velocità di scorrimento e la presenza di piante che ne regolarizzano il flusso attraverso piccoli canali preferenziali.

L'alternanza di aree e la presenza dei fusti garantisce un maggior tempo di residenza idraulica del refluo nel sistema ed evita la formazione di circuiti idraulici.

I flussi liberi sono considerati efficaci per la rimozione dei microrganismi patogeni, ma la funzione è molto variabile per la combinazione di fattori fisici, chimici e biologici accentuati dall'interazione con l'atmosfera.

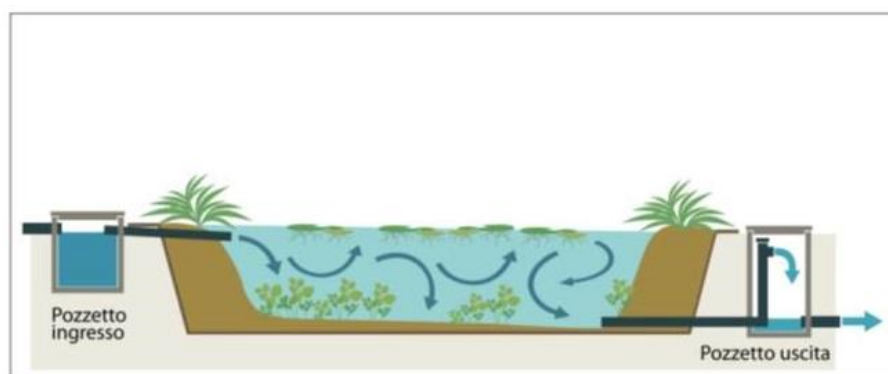


Figura 2.5: schema di un sistema a flusso libero

2.1.2 La normativa

L'Europa, nel 1991, ha sviluppato la norma di riferimento in riferimento al trattamento delle acque di rifiuto (direttiva 91/271/CEE Urban Waste Water Treatment Directive) nella quale indica la raccolta, il trattamento e lo scarico delle acque urbane e di quelle industriali, con finalità di protezione verso l'ambiente dai danni che queste possono causare.

La principale disposizione della 91/271/CEE riguarda l'obbligo di realizzare sistemi di trattamento e raccolta delle acque reflue per qualsiasi agglomerato, in funzione delle dimensioni, dell'ubicazione, del grado di rischio ambientale e della potenzialità dell'impianto.

Vengono indicate inoltre, come aree sensibili da salvaguardare, i laghi naturali, altre acque dolci, gli estuari e acque del litorale, le acque dolci superficiali destinate alla produzione di acqua potabile e tutte le aree dove è necessario un trattamento complementare.

Nel 2000 la direttiva è stata aggiornata, e adesso costituisce uno degli strumenti più importanti per la tutela e il governo delle acque continentali: la direttiva 200/60/CEE Water Framework Directive.

L'elemento portante è la gestione integrata a livello di bacino idrografico, che vuole superare i confini amministrativi a favore di una visione attenta agli aspetti biologici del corpo idrico: la direttiva infatti prevede che gli stati membri dell'UE individuino singoli bacini idrografici presenti nel territorio e li assegnino a distretti idrografici, accorpandoli per zone.

L'obiettivo della direttiva è di proteggere, migliorare e ripristinare lo stato di tutti i corpi idrici superficiali fino al raggiungimento di un "buono stato", ossia la condizione in cui i valori che definiscono la qualità biologica si discostano solo lievemente da quelli del corpo idrico in condizioni inalterate.

Negli ultimi anni l'Italia ha iniziato a sviluppare tutte le necessarie tecniche per adeguarsi alle richieste europee riguardanti il risanamento delle acque, indicando i punti di progettazione esecutiva per gli impianti di fitodepurazione.

Per progettare un impianto è necessario tenere da conto il confronto tra portate in uscita dalla situazione preesistente e quelle massime previste alla realizzazione dell'impianto, studio effettuato sul caso più critico di portata massima in uscita ed evento di pioggia con tempo di ritorno di 100 anni.

Viene ora riportato uno stralcio dell'indicazione dell'AIPO riguardante l'art. 96 del Verbale della Conferenza dei Servizi svoltasi in data 02/09/2015:

“ 96.

Sono lavori ed atti vietati in modo assoluto sulle acque pubbliche, loto alvei, sponde e difese i seguenti: [...]

b) le piantagioni che si inoltrino dentro gli alvei dei fiumi, torrenti, rivi e canali, a costringerne la sezione normale e necessaria al libero deflusso delle acque;

c) lo sradicamento o l'abbruciamento dei ceppi degli alberi che sostengono le ripe dei fiumi e dei torrenti per una distanza orizzontale non minore di nove metri dalla linea in cui arrivano le acque ordinarie. Per i rivi, canali e scolatoi pubblici la stessa proibizione è limitata ai piantamenti aderenti alle sponde;

d) la piantagione sulle alluvioni delle sponde dei fiumi e torrenti e loro isole a distanza dalla opposta sponda minore di quella, nelle rispettive località, stabilita o determinata dal prefetto, sentite le amministrazioni dei comuni interessati e l'ufficio del Genio Civile; [...]”

Gli interventi previsti prevedono di mantenere inalterata la superficie coperta da vegetazione, si prevede solo di variare le specie presenti, preferendo specie con maggiore resistenza all'erosione ma che non limitino il deflusso naturale dell'acqua. Tale accorgimento non altera negativamente l'efficienza idraulica del corso d'acqua.

2.2 Le opere

Le opere di affinamento delle acque provenienti dal depuratore di Carimate (CO) si compone da 3 diversi bacini: due a flusso sommerso, per una superficie totale di circa 8'500 m² e un flusso libero di circa 4'500 m².



Figura 2.6: situazione dell'area di cantiere prima dell'inizio delle opere

2. IL PROGETTO

Le opere consistono nella scarificazione del terreno, nella realizzazione degli scavi, nella realizzazione delle opere di collegamento tra l'esistente impianto di depurazione e i bacini di fitodepurazione, la realizzazione di manufatti in cemento quali camerette di ispezione e di controllo e la valutazione del funzionamento dell'impianto.

Per quanto riguarda il collegamento con l'opera esistente, esso è possibile attraverso la realizzazione di una stazione di sollevamento per le acque in uscita dal depuratore dopo i trattamenti ordinari, mentre per quanto riguarda le acque che hanno avuto un processo più raffinato, si è pensato a un collegamento diretto con la vasca a flusso libero, in quanto non presentano grosse quantità di inquinante.

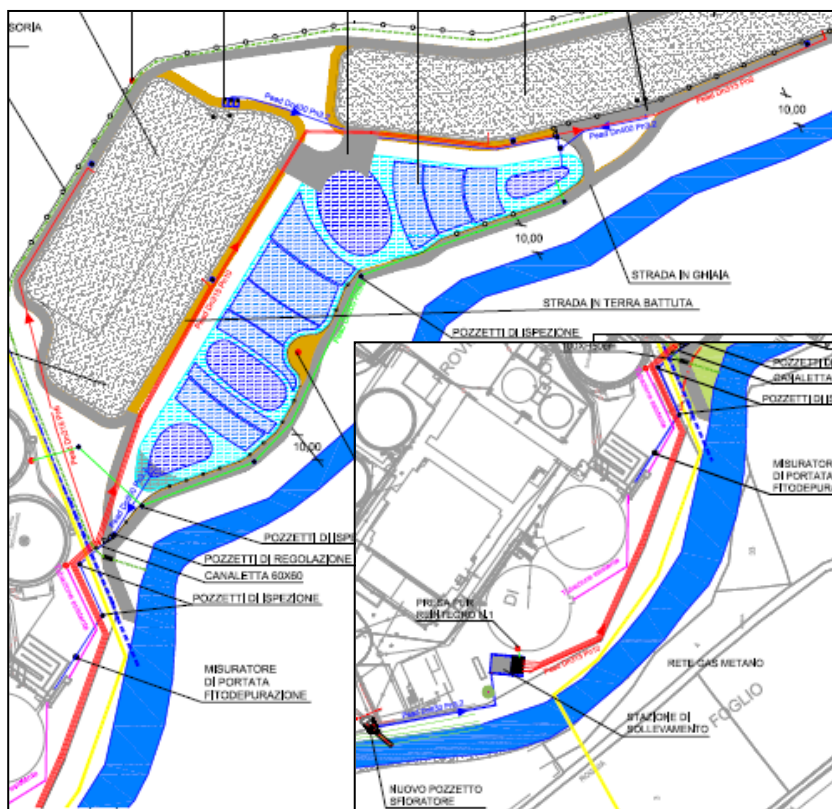


Figura 2.7: collegamenti idraulici

Obiettivo dell'opera è di riportare le acque al fiume Seveso con i valori di carico organico pari a:

Tabella 2.1: valori limiti da rispettare allo scarico finale

BOD ₅	COD	SS	P _{tot}	N _{tot}	N-NH ₄
< 25 mg/l	< 125 mg/l	< 35 mg/l	< 2 mg/l	< 15 mg/l	< 30%

Nello studio del fosforo e dell'azoto totale il dato è riferito alla media annuale dei campioni.

2.2.1 Sistema di filtrazione estensivo

Le acque in uscita dal depuratore vengono indirizzate a una stazione di sollevamento, con capacità di sollevare fino a 1'300 m³/h, in arrivo da un manufatto di sfioro previsto al fine di indirizzare le acque in eccesso verso l'impianto di fitodepurazione. Dalla stazione di sollevamento le acque vengono introdotte in un sistema di filtrazione estensivo a flusso verticale, suddiviso in due differenti linee, ognuna composta da due settori alimentati da altrettante pompe. La superficie complessiva dei quattro settori è di 2'225 m².

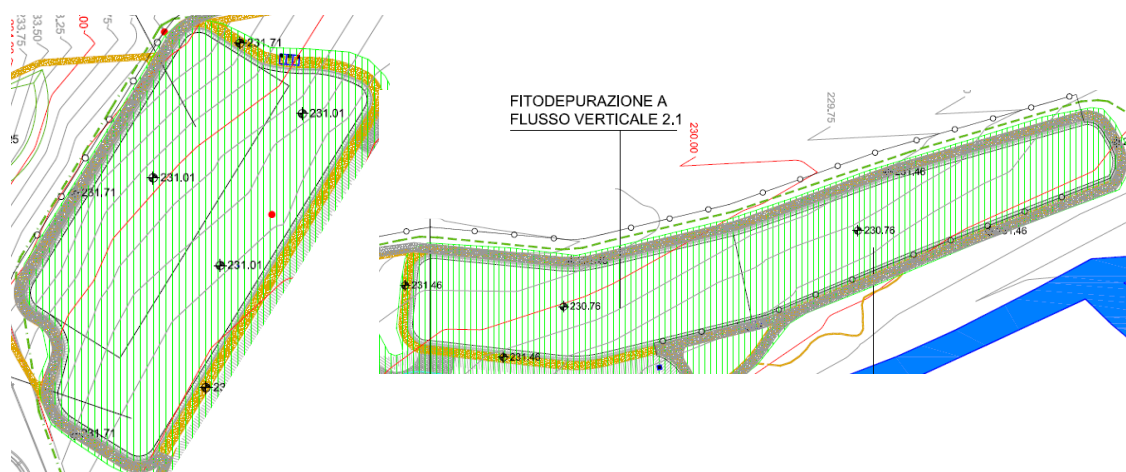


Figura 2.8: bacini a flusso sommerso verticale

Le vasche devono essere preparate tramite la modellazione del terreno, la creazione dei dislivelli richiesti, l'impermeabilizzazione del fondo, la posa delle tubature a pressione che vengono installate su uno strato di ghiaia filtrante per permettere una distribuzione omogenea su tutta l'area di interesse.

La scelta di un impianto a flusso verticale implica la necessità di inserire due serie di tubazioni: sul fondo è necessario un sistema di drenaggio delle acque che copra tutta la vasca, mentre in uno strato quasi superficiale sarà necessario inserire le tubazioni di alimentazione che riescano a distribuire l'acqua su tutta la superficie utile.

In questi bacini si utilizza la capacità depurativa della *Phragmites Australis*, che attraverso alcuni tessuti interni permette di trasportare l'ossigeno dalle parti aeree alla rizosfera, permettendo di avere nel bacino microzone aerobiche in contrasto con l'ambiente anaerobico. L'alternanza delle condizioni permette lo sviluppo di microrganismi che consentono l'ossidazione delle sostanze organiche, l'ammonificazione, la nitrificazione e la denitrificazione dell'azoto.

Questi bacini hanno la doppia funzione di fungere, nel caso di portate del Seveso troppo elevate, da vasche di laminazione delle acque in uscita dal depuratore: è infatti possibile regolare il livello d'acqua nei bacini, solitamente percolato velocemente sul fondo, regolando la valvola d'uscita dagli stessi.

2.2.2 Sistema a flusso libero

I flusso libero superficiale si differenzia rispetto agli altri bacini in quanto alterna zone a diversa profondità per permettere al flusso di avere aree profonde di accumulo e aree con piccole profondità e presenza di piante acquatiche.

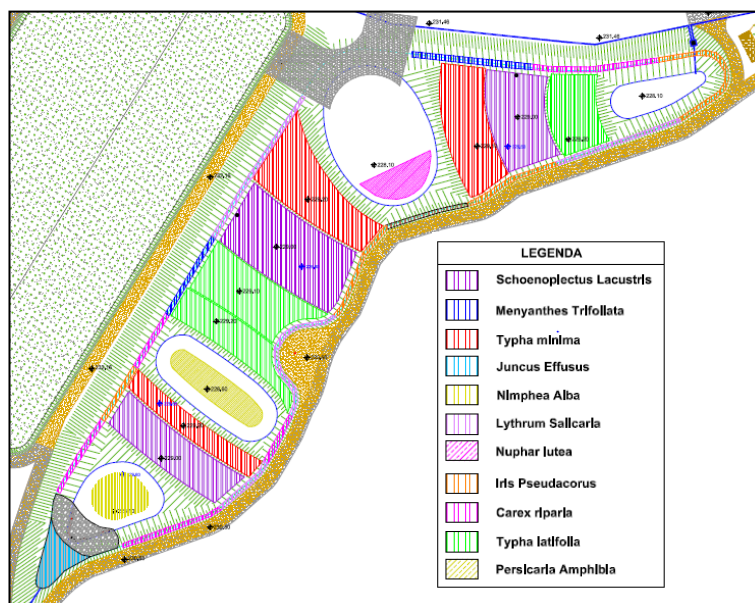


Figura 2.9: suddivisione del bacino in differenti livelli e specie acquatiche

Questo bacino è creato come ulteriore raffinamento delle acque reflue, in arrivo dopo la fitodepurazione a flusso verticale o dai collegamenti di troppo pieno.

2.2.3 Le specie acquatiche

La scelta delle specie acquatiche è stata fatta seguendo diversi punti fondamentali:

- Deve permettere la corretta alternanza di zone a differente quota per mantenere un tempo di residenza idraulica adeguato;
- Deve mantenere un'alternanza delle fioriture, in modo da non rischiare di non limitare il periodo depurativo del bacino.

In generale, la *Phragmites Australis*, utilizzata nei bacini a flusso sommerso per la sua grande capacità depurativa svolge la massima funzione di depurazione dei reflui, mentre nel bacino a flusso libero la funzione depurativa è necessaria solo con i picchi di inquinanti. Le specie inserite nel flusso libero hanno fini principalmente ornamentali ma con principi di depurazione ed ossigenazione delle acque per sopperire ai casi di grossi quantitativi di inquinanti nell'acqua.

Le specie acquatiche selezionate per le opere, e le relative quantità, sono riportate nella tabella sottostante:

Tabella 2.2: Elenco e quantità delle specie acquatiche utilizzate

		Area [m²]	Densità [p/m²]	n. totale
1	Schoenoplectus Lacustris	784	2	1568
2	Menyanthes Trifoliata	50	3	150
3	Typha Minima	622	2	1244
4	Juncus Effusus	62	2	124
5	Nimphaea Alba	87	1	87
6	Lythrum Salicaria	85	3	255
7	Nuphar Lutea	73	1	73
8	Iris Pseudacorus	75	2	150
9	Carex Riparia	85	2	170
10	Typha Latifolia	544	2	1088
11	Persicaria Amphibia	110	1	110
12	Phragmites Australis	8500	4 – 5	36500

Vengono riportate alcune fotografie che servono a individuare le tipologie di piante:

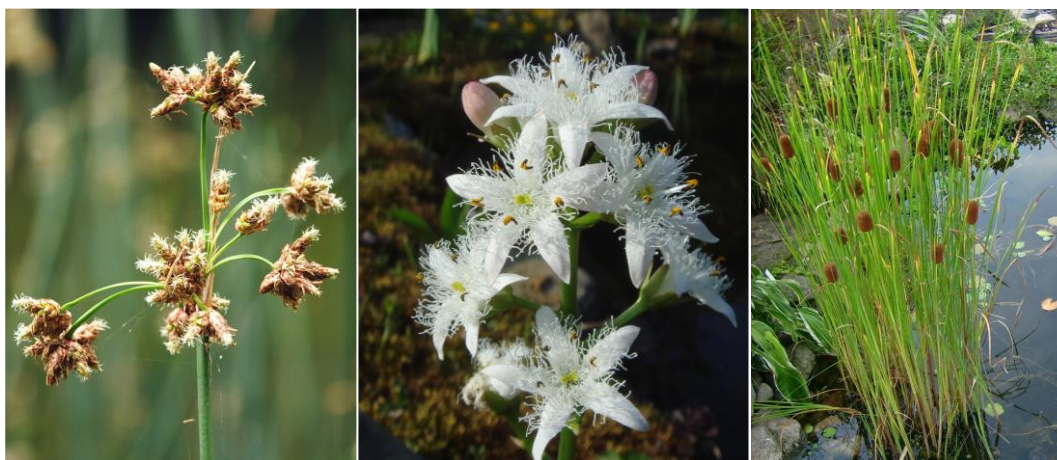


Figura 2.10: tipologie di Schoenoplectus Lacustris, Menyanthes Trifoliata e Typha Minima



Figura 2.11: tipologie di Juncus Effusus, Nymphaea Alba e Lythrum Salicaria



Figura 2.12: tipologie di Nuphar Lutea, Iris Pseudacorus e Carex Riparia



Figura 2.13: tipologie di Typha Latifolia, Persicaria Amphibia e Phragmites Australis

2.2.4 Riqualifica paesaggistica

Oltre alle opere idrauliche, si prevede anche una riqualificazione paesaggistica dell'area, effettuata migliorando diversi aspetti:

- Fascia fluviale, nei tratti di maggiore vicinanza con l'impianto, si prevede di stabilizzare la sponda in erosione dal Seveso attraverso una copertura diffusa sovrastante una scogliera in massi ciclopici. Nel tratto in cui vi è poca vegetazione arborea, si prevede di riabbassare l'argine per creare una superficie inondabile in cui inserire un boschetto di diverse specie.

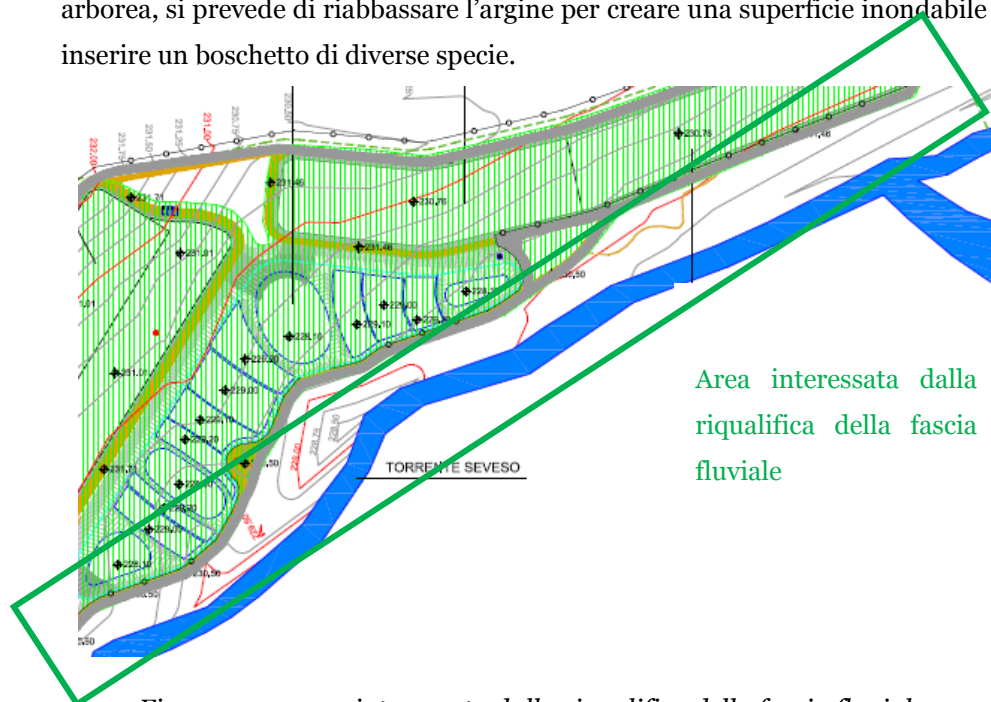


Figura 2.14: area interessata dalla riqualifica della fascia fluviale

- Aree boscate, che si sviluppano lungo la sponda del fiume e attorno ai bacini di fitodepurazione, saranno curate per evitare che le specie alloctone infestanti proliferino a discapito delle specie locali, seguendo una selezione per il taglio delle specie alloctone, la cippatura del materiale di risulta e il rimboscimento per rinforzare la presenza autoctona.
- Creazione di siepi, sia per funzione antierosiva che per incrementare la complessità ecologica. Ha anche funzione di barriera interdittiva. Si vuole utilizzare una siepe multispecifica per separare i diversi bacini e una siepe filare per limitare l'accesso all'area nel tratto opposto al fiume.
- Fruizione dell'area attraverso la posa di un prato stabile fiorito ricreato utilizzando specie autoctone selvatiche, attraversato da una pista ciclabile che raggiunga diversi punti di interesse quali un punto panoramico, un'aula didattica all'aperto, un cannicciato con feritoie, un arboreto didattico e diversi leggi didattici.

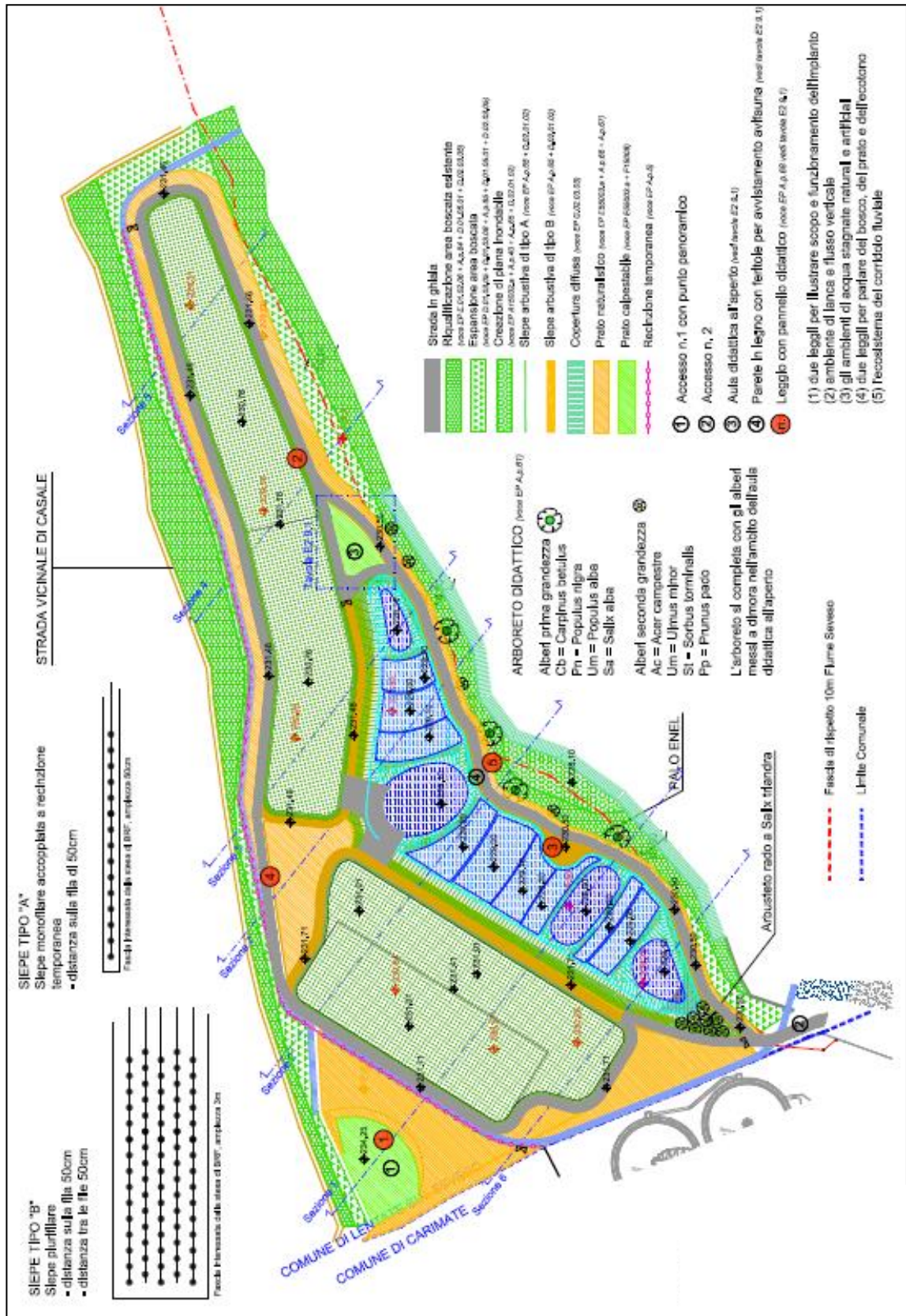


Figura 2.15: planimetria generale delle riqualifiche ambientali

2.3 Le criticità

E' facile immaginare che la massima criticità del lavoro sia legata alle dimensioni delle opere richieste: questo infatti è visibile nelle quantità di movimento terra da eseguire per effettuare il corretto livellamento delle superfici e le corrette pendenze per permettere di facilitare i flussi, secondo le indicazioni di progettisti e della direzione lavori.

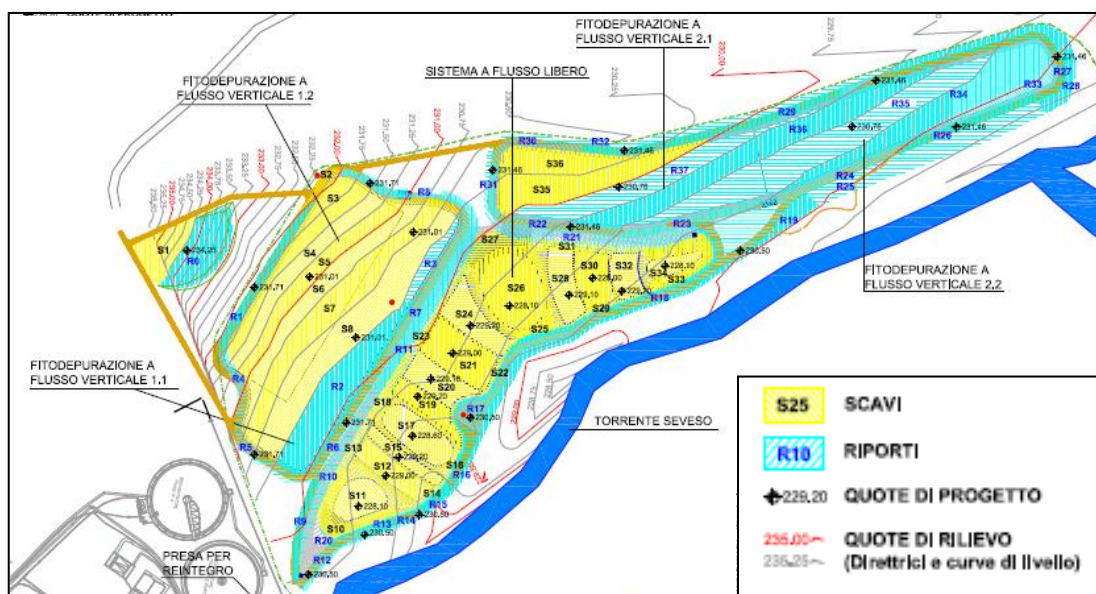


Figura 2.16: mappa indicante scavi e riporti

I movimenti terra prevedono diversi scavi che comportano l'utilizzo di tutto il materiale nella ricreazione delle quote e degli argini.

Tabella 2.3: quantitativi di movimento terra da progetto

TERRENO ESCAVATO		TERRENO DI RIPIRTO	
Aree bacini	6'988.59 m ³	Area bacini	9'416.82 m ³
Scarifica	3'758.00 m ³	Sistema flusso libero	1'060.00 m ³
Formazione fosso	240.00 m ³		
Stazione sollevamento	180.00 m ³		
Tubazioni	400.00 m ³		
Sistemazione spondale	190.00 m ³		
TOTALE	11'759.59 m³	TOTALE	10'476.82 m³

La quantità in eccesso di scavo rispetto al riporto deve essere utilizzata per la modellazione delle superfici richieste.

Altra difficoltà riscontrata è legata alla vicinanza tra le tubazioni esistenti e quelle di alimentazione da introdurre: la vicinanza tra l'area di scavo per le tubazioni alle tubazioni

esistenti è rischiosa per il rischio di danneggiare i tubi esistenti e dover incombere in spese aggiuntive e in una momentanea chiusura della parte di depuratore interessato. Per ovviare al problema, sono state proposte diverse varianti:

- Sostituzione di parte della condotta esistente,
- Variazione del percorso delle tubazioni di alimentazione,
- Differente quota delle nuove tubazioni, limitando il rischio di interferenze con quelle esistenti.

Sottoposte le alternative alla direzione lavori, la scelta sulla variante adeguata verrà scelta al momento degli scavi, secondo quanto riscontrato e alle condizioni istantanee nel momento di

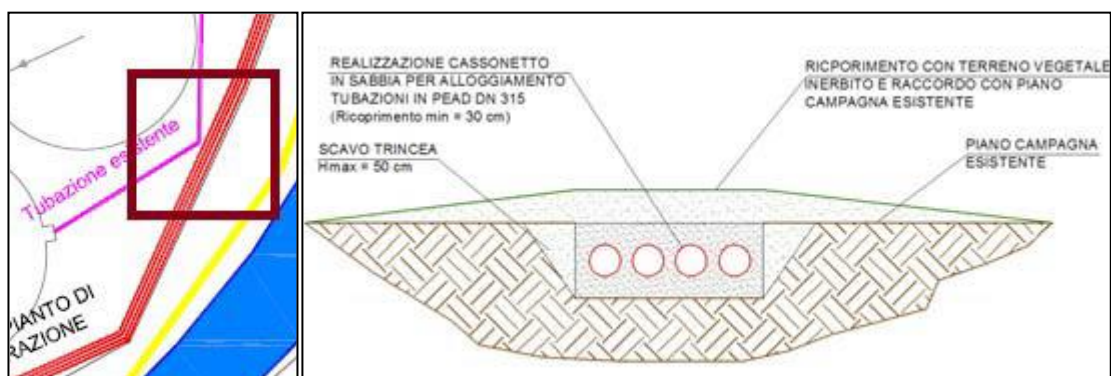


Figura 2.17: posizione dell'interferenza e soluzione proposta

dover eseguire le lavorazioni. La soluzione verrà contestualizzata secondo le esigenze del committente, che a priori predilige lo scavo a quota diversa (Figura 2.16), e secondo le tempistiche di lavoro.

2. IL PROGETTO

Inoltre tra le maggiori difficoltà riscontrate, vi è la presenza di diversi servizi urbani: è infatti necessario porre attenzione sia ai cavi elettrici, che verranno spostati e verrà interrotta la fornitura elettrica (previa accordi con il gestore per limitare i disagi agli utenti, cercando di sfruttare i periodi di minor utilizzo del servizio e velocizzando le lavorazioni per ridurre i tempi di disservizio); sia la presenza di un gasdotto limitrofo all'impianto di depurazione esistente, ponendo massima attenzione a non interferire con le tubazione di alimentazione delle vasche, soprattutto nel tratto di superamento del gasdotto per introdursi nella nuova area di depurazione.



Figura 2.18: posizione interferenze con servizi pubblici

3. IL CRONOPROGRAMMA

- Fase 2 legata alla movimentazione terra, all'impermeabilizzazione e, dove necessario, alla posa dei tubi e dei riempimenti per tutti i bacini di fitodepurazione, ponendo particolare attenzione alle operazioni di scavo e riporto, e mantenendo la corretta stratificazione della impermeabilizzazione e del riempimento dei letti;
- Fase 3 riguardante i collegamenti idraulici, le opere di regolazione in cemento armato, le piantumazioni e le operazioni per rendere l'area fruibile e rinverdita.

Tabella 3.3: giustificativo tempistiche per macro attività

Nome attività	S-1	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	
SQUADRA 1		[Barra continua da S1 a S21]																					
Installazione cantiere		[Barra da S1 a S2]																					
Sistema a flusso libero		[Barra da S2 a S4]																					
Collegamenti idraulici												[Barra da S11 a S14]											
SQUADRA 2		[Barra continua da S1 a S21]																					
Spostamento sottoservizi		[Barra da S1 a S2]																					
Sistema a flusso verticale 2.2		[Barra da S2 a S4]																					
Opere in cemento armato																	[Barra da S16 a S18]						
SQUADRA 3		[Barra continua da S1 a S21]																					
Sistema a flusso verticale 2.1		[Barra da S2 a S4]																					
Piantumazioni, opere ambientali, sistemazioni finali																	[Barra da S16 a S18]						

Dalla tabella 3.3 è inoltre evidente che la suddivisione degli operatori in diverse squadre permette di limitare le giornate lavorative: inoltre, per come è suddiviso il cronoprogramma, le interferenze tra le varie squadre sono minime e non hanno dirette dipendenze gli uni dagli altri, permettendo di gestire singolarmente diversi bacini.

Per quanto riguarda i tempi di esecuzione delle opere viene riportato il giustificativo delle lavorazioni, diviso per squadra operativa, indicato con attività descritte nel dettaglio nell'appendice A2.

Si nota che almeno 2 squadre iniziano le attività in contemporanea, questo è possibile perché l'allestimento di cantiere interessa solo la zona vicina all'ingresso dell'area, mentre le attività sui sottoservizi non subiscono ritardi per l'installazione di cantiere in quanto non ci sono interferenze tra le aree.

CAPITOLO 4

LO SVOLGIMENTO DEI LAVORI

Vengono ora riportati i progressi effettuati direttamente in cantiere, ponendo particolare attenzione alla variazione delle tempistiche, alle operazioni svolte e all'organizzazione che ne è derivata, nonché agli imprevisti e alle soluzioni adottate per evitarli.

Viene dunque analizzata sia la parte precedente la cantierizzazione, sia le problematiche riscontrate in loco.

I lavori preliminari sono consistiti nell'analisi dei materiali, la ricerca di migliorie per l'esecuzione delle opere, facilitando le operazioni in cantiere o il trasporto del materiale, cercando di ridurre i costi e permettere una maggiore resistenza; inoltre è stata valutata la possibilità di effettuare subappalti o subaffidamenti, considerando le conoscenze e le capacità degli operatori dell'impresa e selezionando possibili società da contattare a riguardo.

Queste operazioni, che in situazioni di lavori di dimensioni e importi minori non richiedono particolare tempo, sono state svolte minuziosamente e ponendo attenzione a ogni singolo dettaglio, valutando inoltre le capacità di interazione tra le direzioni tecniche e tra gli operatori, nonché passati rapporti durante altre opere o precedenti conoscenze con la committenza.

Le lavorazioni per cui è stato necessario considerare la collaborazione sono:

- Impianti elettromeccanici;
- Saldature;
- Impermeabilizzazione;
- Opere in cemento.

4. LO SVOLGIMENTO DEI LAVORI

Riguardo agli impianti elettromeccanici, la necessità è dovuta alla grande quantità di opere necessarie (da computo metrico risultano circa 225'000.00 €), alla regolazione dell'impianto in sincronia con il depuratore esistente e alla capacità di mantenere un controllo costante e automatizzato delle opere. E' stato ritenuto necessario l'intervento di un'azienda con una grossa esperienza nel campo, con competenze tali da poter accedere anche alla regolazione del depuratore esistente per una completa visione sull'intero processo di depurazione delle acque.

Per quanto riguarda le saldature, sono state quantificate le tubazioni necessarie per l'alimentazione e la derivazione delle vasche presenti:

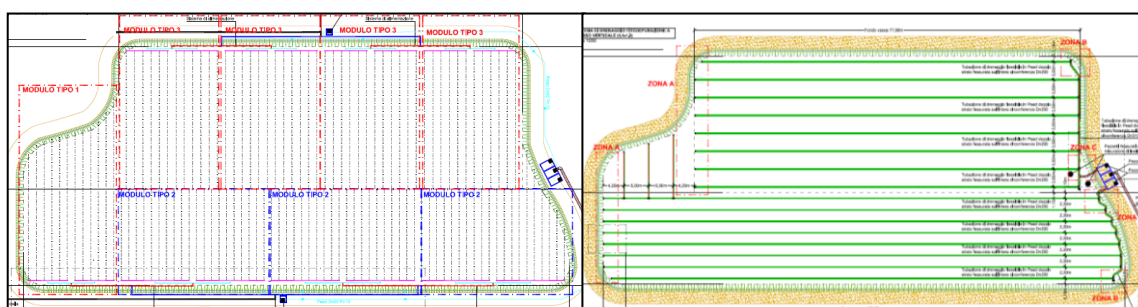


Figura 4.1: sistema di alimentazione e di derivazione vasca 1

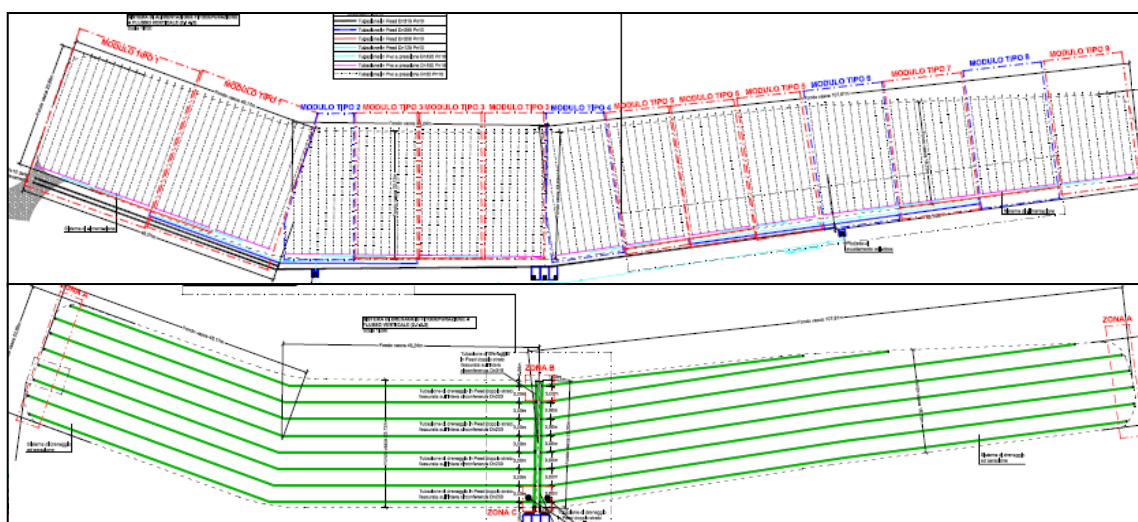


Figura 4.2: sistema di alimentazione e di derivazione vasca 2

Da cui risultano un totale di:

Tabella 4.1: quantità di tubazioni necessarie alle opere

diametri	50	125	160	200	250	315	400	500	630
PVC [m]	5'478		347						
PEAD [m]	432	195		195	258	1'386	155	90	48

Inizialmente si voleva limitare la necessità di saldature sostituendo alcune tubature in PVC (Cloruro di polivinile), materiale plastico composto da derivati del petrolio e sale, solitamente distribuito in barre da 6 o 12 metri secondo le esigenze, con rotoli di polietilene ad alta densità, ma non avendo avuto il consenso della direzione lavori, si è optato a un subappalto in quanto non in possesso degli attestati formazione alla saldature di tubazioni di vario diametro.

L'impermeabilizzazione, nonostante l'esperienza maturata da molti operatori a riguardo su bacini di dimensioni più modeste, è stata subappaltata considerando le grandi quantità di telo bentonitico e la difficoltà di stesura dello stesso, propendendo per un'impresa specializzata sul campo in modo da ridurre i tempi delle lavorazioni grazie alla grande esperienza su quantitativi elevati e all'utilizzo di attrezzature specifiche. Vengono riportati i quantitativi necessari per le impermeabilizzazioni:

Tabella 4.2: quantitativi di geomembrana necessaria alla opere

	<i>Telo impermeabile [mq]</i>
Vasca 1 – filtrazione	5'374.80
Vasca 2 – filtrazione	5'661.40
Vasca 3 – flusso libero	5'450.00
	<u>16'486.20</u>

Per quanto riguarda i manufatti in calcestruzzo, la scelta è stata fatta con lo stesso criterio dell'impermeabilizzazione: è stato preferito il supporto di un'azienda con molta più esperienza e competenza sia sulle operazioni di gettata che sulla posa dei ferri di armatura. La scelta non è stata fatta per incompetenza del personale dipendente, ma per permettere di velocizzare le opere grazie alla collaborazione di esperti del settore.

4.1 Il primo mese

Le prime fasi di cantiere sono state svolte per permettere di avere uno spiazzo per le manovre dei camion, appena entrati nell'area di cantiere. L'area prevista, di grosse dimensioni occupa una parte del bacino 3, per cui sarà necessario posticipare parte degli scavi presenti per permettere di mantenere l'area.

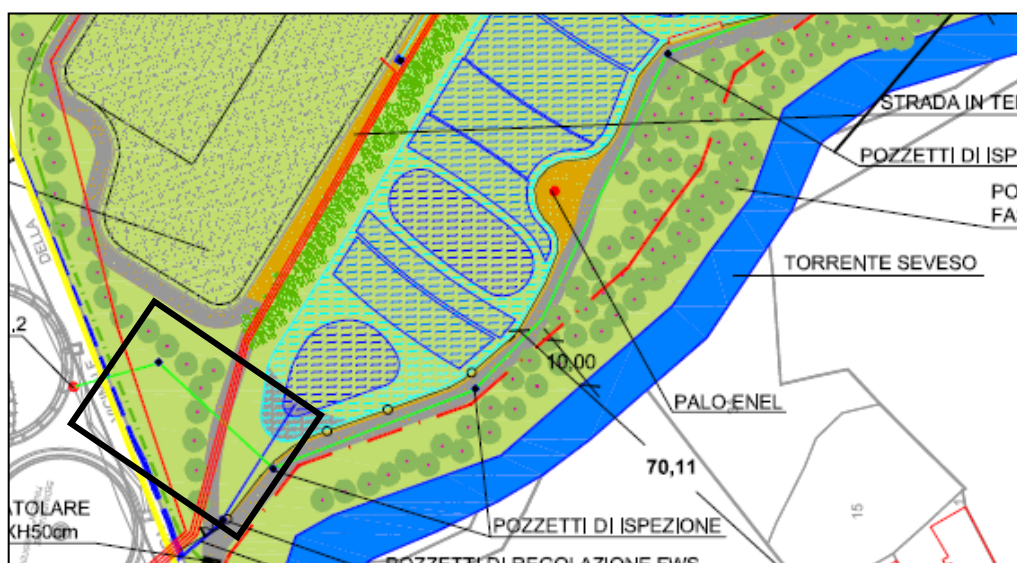


Figura 4.3: posizione del piazzale di manovra per i mezzi impiegati in cantiere

Tra le prime problematiche, si è subito riscontrato che il terreno, terra di coltivo molto malleabile, non è adatta agli scavi a riporti, dove solitamente si preferisce una terra mista a sassi in quanto ha maggiore resistenza e compattezza: il terreno presente invece tende a cedere con il peso di escavatori o trattori, rendendo più difficili le lavorazioni di formazione dei bacini e di sistemazione dell'area interna.

Le precipitazioni che sono cadute durante la prima decade dei lavori hanno rallentato molto le lavorazioni, in quanto il terreno, date le caratteristiche sopra descritte, risultava ancora più difficilmente trasportabile.

Altro svantaggio dovuto al terreno è legato alla presenza dei sottoservizi: ove presenti, si è resa ancora più necessaria l'attenzione agli spostamenti sull'area, in quanto il rischio di cedimenti sopra il metanodotto o sopra altri sottoservizi è maggiore.



Figura 4.4: segnalazioni dei sottoservizi per evitare problematiche legate al passaggio dei mezzi

Dato che è giunti a completare lo scavo del primo bacino, si è provveduti a iniziare a stendere il geotessuto sottostante la sabbia sul bacino.

Viene riportato un particolare di progetto con la stratificazione a cui si vuole arrivare, e un'immagine esplicativa delle operazioni già effettuate.

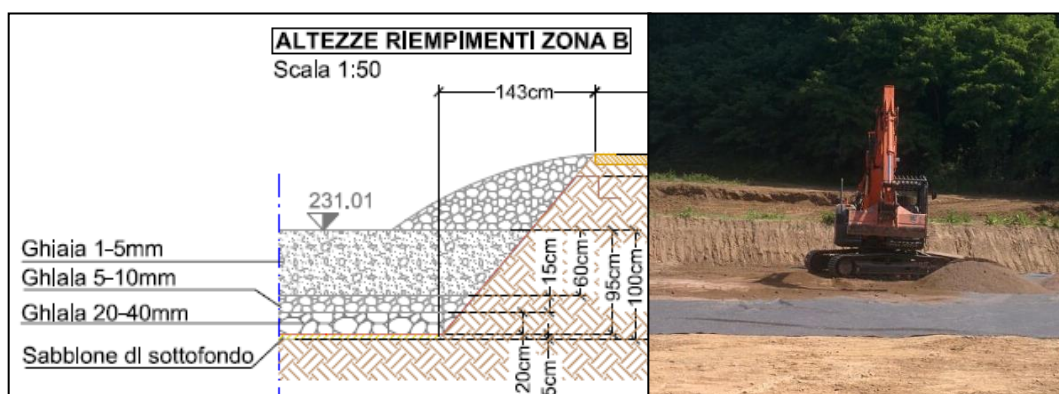


Figura 4.5: stratigrafia da inserire nel bacino e operazione di posa del geotessuto sotto il sabbione di sottofondo

Ulteriore problema riscontrato è dovuto alle interazioni con altre compagnie: infatti all'interno del primo bacino è presente un palo dell'Enel, che non è ancora stato spostato ed si è dovuto agire attorno per ovviare il problema. Date le tempistiche di uscita per risolvere il problema, si provvederà a gettare un pozzetto attorno al palo, in modo da poter procedere con la posa della impermeabilizzazione operando attorno all'area così definita dal calcestruzzo.



Figura 4.6: doppia visione del palo dell'elettricità all'interno del bacino 1

4.2 Il secondo mese

E' stata completato la scavo della parte del bacino a flusso libero libera dall'area di manovra dei mezzi, ponendo attenzione ai vari dislivelli per creare un flusso preferenziale e permettere l'attecchimento delle specie arboree acquatiche.

Dopo la posa della geomembrana sul fondo dei bacini a flusso verticale ed è stata verificata la resistenza delle saldature dello stesso: la verifica è consistita nel valutare la variazione di pressione all'interno della saldatura nell'arco di tempo di 10 minuti: la valutazione della

corretta saldatura é riscontrata dalla mancata alterazione della pressione, con ammesso un errore del 20% della stessa.



Figura 4.7: geomembrana posata sul bacino 2 ed esempio di verifica alla saldatura
E' stato possibile, una volta posate le tubazioni di drenaggio, iniziare con il riempimento di questi bacini partendo da inerte con granulometria elevata e procedendo per gradi fino a granulometrie molto fine (fino a valori di 1-5 mm di diametro).



Figura 4.8: stesa delle tubazioni di drenaggio nel bacino 1



Figura 4.10: riempimento del bacino 1 con visibili le tubazioni di drenaggio e il primo strato di riempimento

Date le caratteristiche dell'inerte di riempimento, non è stato possibile velocizzare le lavorazioni permettendo ai bilici di entrare nell'area del bacino: la grossa granulometria e le geomembrane presenti nel bacino non hanno la capacità di resistere al peso di bilici senza rischio di rimanere bloccati. Non è quindi stato possibile velocizzare i lavori di riempimento attraverso la distribuzione del materiale in arrivo già nell'area, ma è stato necessario eseguire lo spostamento con diversi escavatori in serie.



Figura 4.9: distribuzione del materiale inerte di riempimento lungo tutta l'area del bacino

A fine del secondo mese è stato possibile completare il riempimento del primo e del secondo bacino, riuscendo in questo modo a completare la posa dei drenaggi e delle varie granulometria, nonché la posa di pozzetti di uscita con tubazione magnum a riparo del misuratore di livello per la regolazione del sistema di filtrazione.



Figura 4.11: strati di riempimento completi del bacino 2 e particolare della tubazione magnum a riporto del misuratore li livello

4.3 Terzo mese

Il terzo mese ha visto un'accelerata riguardo lo sviluppo del secondo bacino a flusso sommerso: la scelta è dovuta alla distanza rispetto al punto di approvvigionamento dei materiali. E' quindi stato possibile completare il riempimento con inerti e lo sviluppo dei rialzi su cui posare le tubazioni di alimentazione.

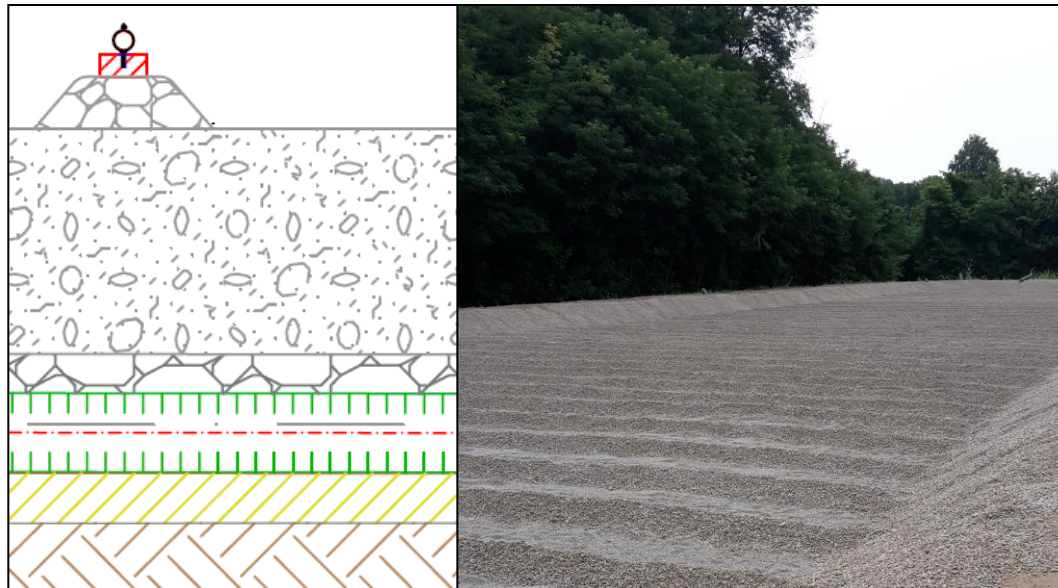


Figura 4.12: particolare costruttivo della stratificazione del bacino ed esecuzione dello stesso prima della posa dei tubi

Si sono inoltre iniziate tutte le opere in cemento armato, quali pozzetti di uscita dai bacini che la realizzazione della stazione di sollevamento.



Figura 4.13: opere in cemento armato

Le opere in cemento, in base alle dimensioni e all'utilizzo, sono in parte prefabbricate e in parte realizzate in loco.

Per quanto riguarda quelle prefabbricate, è stato forato il cemento per permettere il passaggio dei collegamenti fognari, che sono anch'essi stati posti in opera completi di passamuro e passatelo.



Figura 4.14: opere in cemento prefabbricato con passamuro

Si inizia inoltre a profilare il bacino a flusso libero, di più difficile lavorazione per le variazioni di quote a cui le diverse specie acquatiche devono essere poste.

Per quanto riguarda il primo bacino a flusso sommerso, le lavorazioni non sono risultate lente, ma hanno subito alcuni ritardi sia per l'esigenza di completare il secondo (posto in posizione più scomoda) sia per la dimensione del telo divisorio tra i sottobacini, che taglia a metà l'intero scavo, richiedendo un lungo lavoro di fino con i macchinari.



Figura 4.15: particolare del telo impermeabile di divisione dei sottobacini e relativa lavorazione

4.4 Quarto mese

Sono state completate le opere per la realizzazione della stazione di sollevamento, secondo quanto riportato in progetto ed eseguendo anche tutti i collegamenti con il sedimentatore da cui viene prelevata l'acqua reflua per tutto l'impianto di fitodepurazione.



Figura 4.16: progetto ed esecuzione della stazione di sollevamento dal sedimentatore

Inoltre è stata iniziata la posa, oltre delle tubazioni di alimentazione di diametro 50 mm, anche tutte le tubazioni di collegamento all'impianto: per queste ultime è stato necessario eseguire una serie di scavi lungo le arginature dei bacini a flusso sommerso verticale per permettere la posa nelle corrette posizioni delle tubazioni di diametro 315 e 250 mm.

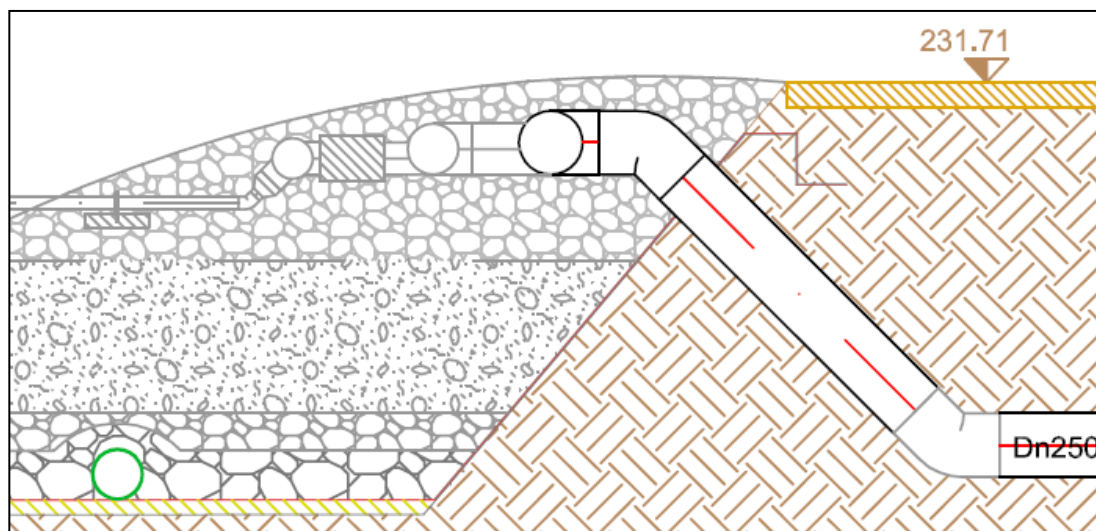


Figura 4.17: progetto riguardo alla posa di tubazioni sopra o sotto il letto di alimentazione

4. LO SVOLGIMENTO DEI LAVORI

Per effettuare gli scavi è stato necessario valutare la distanza sia dall'imbocco del tubo di diametro 50, sia limitare lo scavo alla lunghezza minima necessaria per eseguire agevolmente le saldature e i raccordi.

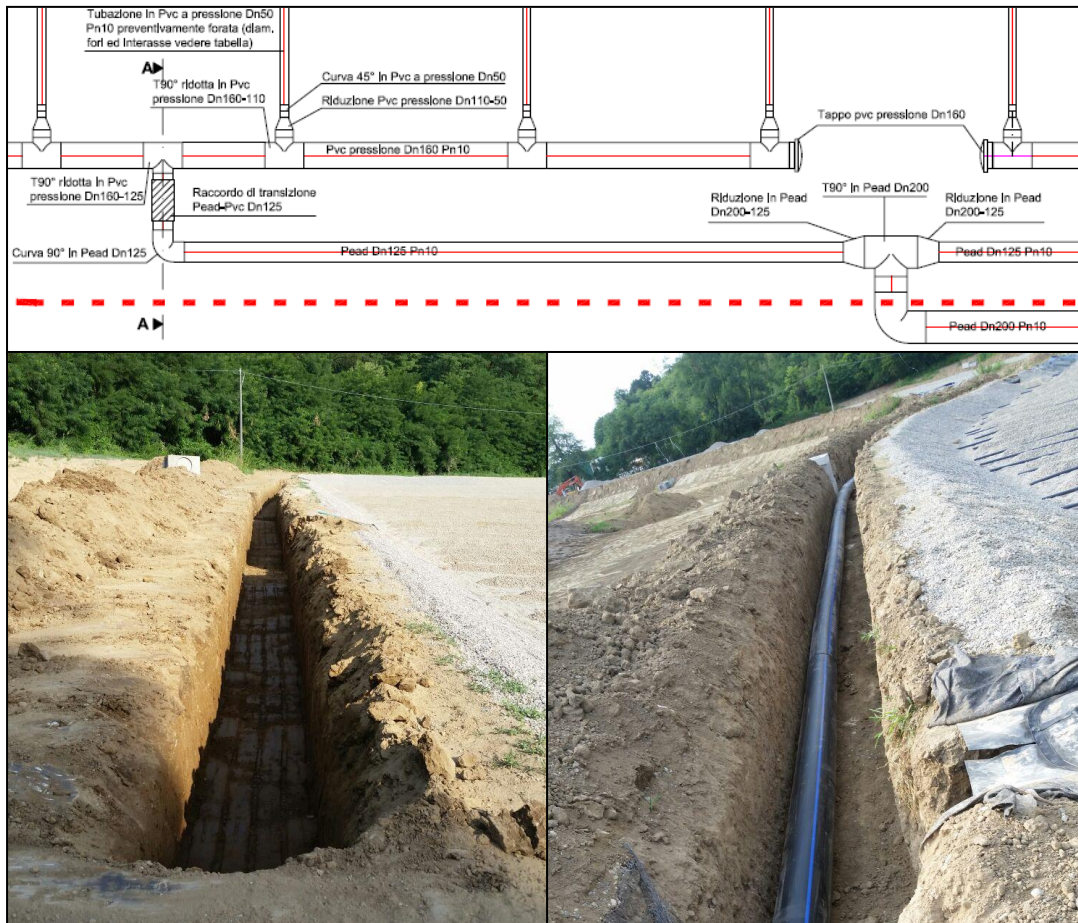


Figura 4.18: progetto per la valutazione della distanza ed esecuzione di scavo e posa della tubatura di diametro 315 e 250

Sono stati anche inserite le congiunzioni per il passaggio in superficie delle tubazioni.



Figura 4.19: passatelo per la congiunzione delle tubature in profondità con le tubazioni esterne

Per quanto riguarda le tubature di diametro 50 mm per l'alimentazione nel bacino, sono state posizionate all'interno del bacino sopra una superficie rialzata e sorrette da una serie di mattoncini posti ad intervalli di 2 metri.



Figura 4.20: posizione e sequenza per la posa delle tubazioni di diametro 50 mm

Per quanto riguarda il bacino a flusso libero, finora “messo in disparte” per il ridotto numero di lavorazioni necessarie rispetto agli altri bacini, si è provveduto a iniziare maggiori opere quali l'impermeabilizzazione del fondo: rispetto ai bacini a flusso sommerso verticale, nel bacino a flusso libero si sono riscontrate maggiori problematiche durante l'impermeabilizzazione dovute all'irregolarità del suolo che deve mantenere l'alternanza di quote necessarie per la crescita di diverse specie di piante acquatiche e permettere un flusso vario semi-naturale.

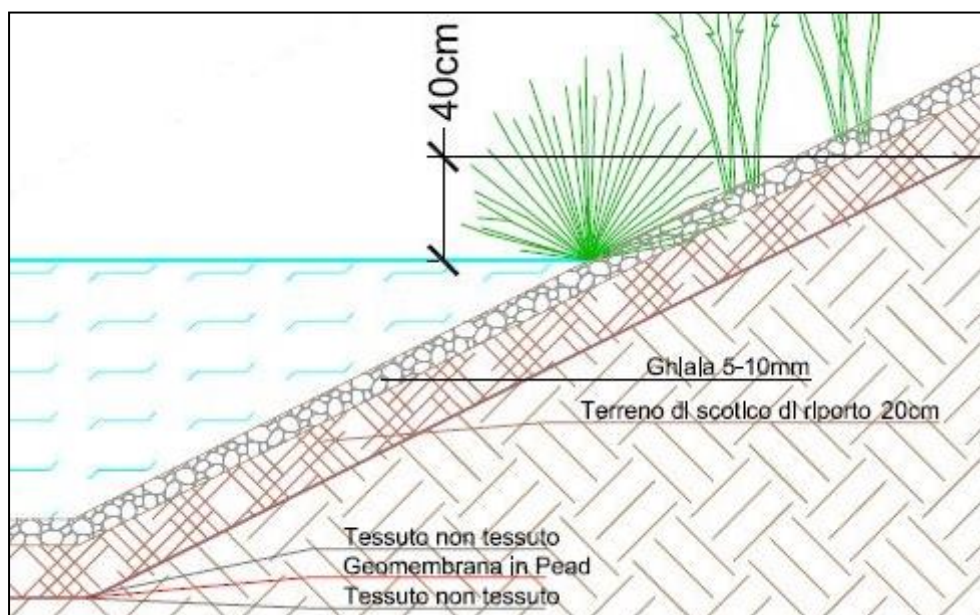


Figura 4.21: schema di stratificazione del sistema a flusso libero

Per la fine del mese sono iniziate le consegne della *Phragmites Australis* nelle quantità necessarie per completare il flusso sommerso verticale 2, ossia 18'280 piantine da distribuire lungo tutto il bacino 2 con densità di 4 piantine a metro quadro.

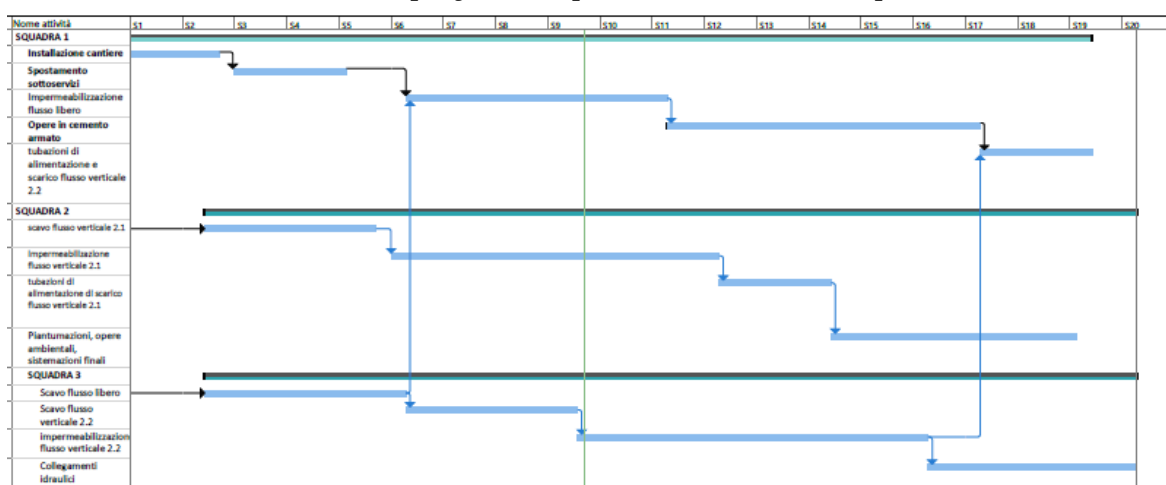
CAPITOLO 5

VARIAZIONI IPOTETICHE AL CRONOPROGRAMMA

Viene ora riportata una mia analisi riguardante il cronoprogramma e le tempistiche di cantiere: una prima analisi è stata studiata precedentemente all'inizio delle lavorazioni e riguarda una variazione al cronoprogramma proposto in gara d'appalto, queste tempistiche poi sono state valutate ad ogni passo di avanzamento del cantiere, riscontrando eventuali punti favorevoli e punti sfavorevoli che le variazioni avrebbero potuto portare nell'esecuzione delle opere.

Viene riportato in tabella lo schema ridotto ipotizzato, mentre nell'appendice B1 si ha l'analisi completa:

Tabella 5.1: cronoprogramma ipotetico con indicate le dipendenze



A priori, prima dell'apertura del cantiere, è già possibile notare alcune differenze rispetto ai precedenti cronoprogrammi:

- I tempi della durata complessiva delle lavorazioni vengono ridotti, non in grossa misura, ma rispetto al cronoprogramma di progetto, si potrebbe risparmiare circa 7 giorni lavorativi;
- Le squadre non risultano più indipendenti, ma hanno delle dipendenze interne tra le lavorazioni, che comportano maggiori rischi di ritardi per problemi di un team, queste dipendenze vengono meglio visualizzate nella tabella 5.2.

Nella tabella 5.1 è subito evidente la dipendenza tra la squadra 1 e la squadra 3 in quanto spesso le lavorazioni avvengono sulla stessa area del cantiere, mentre la squadra 2 opera principalmente sullo stesso bacino (completando le opere senza incontrare possibili interferenze con altre squadre).

5.1 I punti critici

E' subito evidente che la proposta non permette di gestire le squadre separatamente, ma esse vengono subito interconnesse nelle lavorazioni, facendole operare in tutte le aree del cantiere indistintamente.

Inoltre viene subito identificata la mancanza di linearità nel lavoro: le squadre non portano dall'inizio alla fine tutto un aspetto dell'opera, ma si "specializzano" su particolari settori. La specializzazione è evidente soprattutto nella squadra 3, che viene identificata come specifica per gli scavi, per quanto possibile senza ritardare troppo i tempi, e per la squadra 1, addetta principalmente alle opere di installazione di cantiere e alla sistemazione dei sottoservizi presenti, sia per quanto riguarda il metanodotto, sia per la presenza nel primo bacino della linea elettrica.

Dopo il primo mese di lavorazioni, si notano le prime discrepanze tra le lavorazioni effettive e quelle che si avrebbero potuto avere in cantiere: la squadra 1, dopo l'allestimento di cantiere, con la variante al cronoprogramma avrebbe avuto un ritardo dovuto alla mancata collaborazione con la società elettrica addetta allo spostamento del palo sito all'interno del bacino 1, rischiando di rallentare anche la squadra 3 per l'impermeabilizzazione.

Questo inconveniente è stato risolto effettuando una variazione al programma che ha permesso di accelerare le lavorazioni di scavo su tutti i bacini (avendo a disposizione tutte le squadre) e permettere di velocizzare la realizzazione di questi, con particolare anticipo soprattutto sui due bacini a flusso verticale sommerso.

Durante il secondo e terzo mese si nota che la scelta in variante di cronoprogramma non avrebbe reso quanto realmente avvenuto: problemi legati a forniture e reperibilità di pezzi speciali avrebbero potuto rallentare almeno una squadra, rischiando di intralciare nel periodo successivo le altre lavorazioni e le altre squadre. L'esecuzione delle opere ha ovviato a questo inconveniente gestendo e organizzando il lavoro su più fronti e con squadre intercambiabili che, nel momento in cui tardava una fornitura, potevano subito interagire con le altre rafforzando e velocizzando le altre operazioni.

Durante il quarto mese non si sono verificate particolari problematiche in cantiere: rispetto al cronoprogramma proposto in alternativa a quello di gara si può riscontrare un ritardo rispetto alla realizzazione del bacino a flusso libero e alla piantumazione di specie arboree, ma queste sono compensate dalla realizzazione dei collegamenti e dalla posa di tubazioni, che sono state anticipate. Rispetto all'andamento dei lavori, il cronoprogramma alternativo non ha tenuto conto di alcune tempistiche legate al periodo feriale caratteristico del mese di agosto, che ha fatto posticipare la consegna delle specie acquatiche e ha prolungato alcuni tempi lavorativi per l'assenza di personale in pausa estiva.

5.2 I punti a favore

E' subito evidente che la nuova ipotesi di cronoprogramma permette un risparmio sulle tempistiche: infatti prevede di ridurre una settimana di lavoro, permettendo di avere più margine di tempo rispetto ai tempi proposti di 5 mesi.

Altro punto non di secondaria importanza, è l'aver selezionato una squadra per l'esecuzione della maggior parte degli scavi, permettendo così di semplificare le operazioni di riprofilatura e riporto dei volumi, che nelle giustificazioni dei tempi di gara sarebbe stato suddiviso su 3 diverse squadre, con l'interazione per il passaggio della terra. Questa scelta permette di mobilitare un numero inferiore di mezzi della stessa tipologia, in quanto solo due scavi vengono svolti in contemporanea. Ugualmente si può valutare la stessa caratteristica per l'impermeabilizzazione e non si hanno sovrapposizioni di posa delle tubazioni, permettendo di utilizzare un solo saldatore alla volta.

Dopo il primo mese è possibile individuare che la distribuzione delle lavorazioni in modo da avere squadre specializzate su lavorazioni ha consentito di procedere continuamente su opere specifiche: per quanto riguarda gli scavi, la squadra addetta è stata affiancata da una seconda squadra proseguendo bacino dopo bacino a completare la conformazione richiesta; la squadra addetta all'impermeabilizzazione ha così potuto iniziare i lavori sul bacino 1 e,

appena terminati questi, con continuità proseguire al secondo bacino limitando in questo modo tempi morti dovuto all'attesa di operazioni preliminari.

Durante il secondo e terzo mese si nota che, per esigenze di cantiere, lo svolgimento dei lavori è stato svolto con maggiori integrazioni tra le squadre, rendendo le procedure più simili alla variante proposta. Il lavoro di gruppo ha permesso di accelerare le opere di realizzazione dei bacini a flusso sommerso, senza però dimenticare gli scavi del bacino a flusso libero che, variando le quote del fondo, rende più lunga la lavorazione. Lo sviluppo dei bacini a flusso sommerso ha permesso di ridurre le giornate lavorative dei saldatori che nel momento dell'ingaggio hanno subito trovato tutte le tubazioni stese in entrambi i bacini, riducendo in questo modo i tempi morti per la posa degli stessi.

Nel quarto mese si rende evidente che è stato necessario seguire un lavoro integrato tra le squadre, che abbia saputo sfruttare sinergicamente le capacità degli operatori e affrontare nel modo ottimale tutte le problematiche riscontrate nel procedere del cantiere.

Si può dedurre che la variante al cronoprogramma proposta è stata in parte considerata nei momenti in cui veniva riscontrato un problema (legato alle forniture, a ritardi o simili) in quanto risulta più "elastico" sulle lavorazioni, permettendo di saltare a diverse lavorazioni integrando le squadre nei momenti di stallo: questa caratteristica non sarebbe stata possibile attendendosi progressivamente al cronoprogramma di progetto, in quanto le lavorazioni programmate erano della stessa tipologia in tempi simili.

CAPITOLO 6

CONCLUSIONI

Le opere eseguite, date le condizioni ritrovate in cantiere, hanno seguito un andamento in cui le squadre hanno operato sinergicamente su diversi ambiti. Rispetto al cronoprogramma di gara, le situazioni riscontrate hanno spostato i processi a un andamento simile a quello proposto come alternativa, che è risultato più simile a quello seguito realmente.

Nonostante le opere non siano ancora terminate, il procedere dei lavori dovrebbe permettere di completare la realizzazione entro i tempi stimati, nonostante diversi inconvenienti “scoperti” direttamente in cantiere.

Per quanto riguarda le criticità riscontrate nel capitolo 2.3, esse sono state risolte secondo quanto previsto a inizio cantiere o “aggirate” come nel caso della linea elettrica: la mancata collaborazione con il gestore della linea non ha permesso la rimozione del palo sito all’interno del bacino, ma esso è stato mantenuto nella posizione iniziale e rinforzato alla base per permettere di svolgere i lavori. Viene riportata un’immagine in cui è ancora visibile lo stesso.

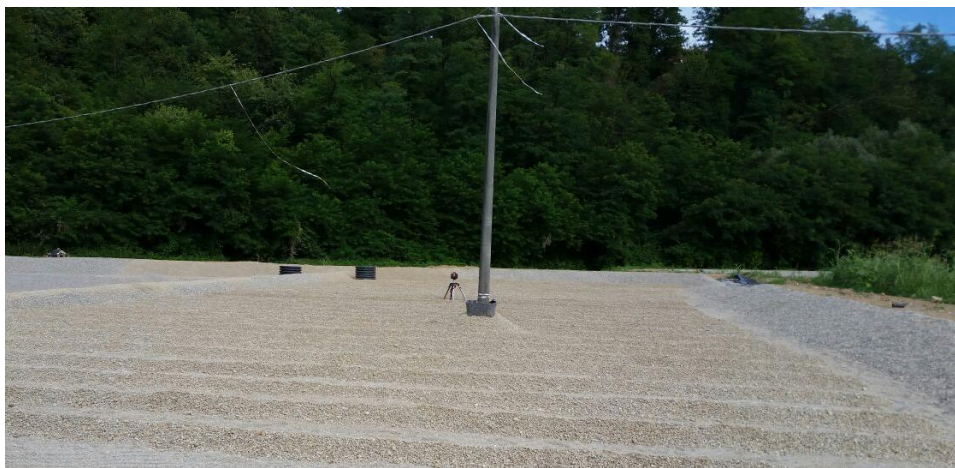
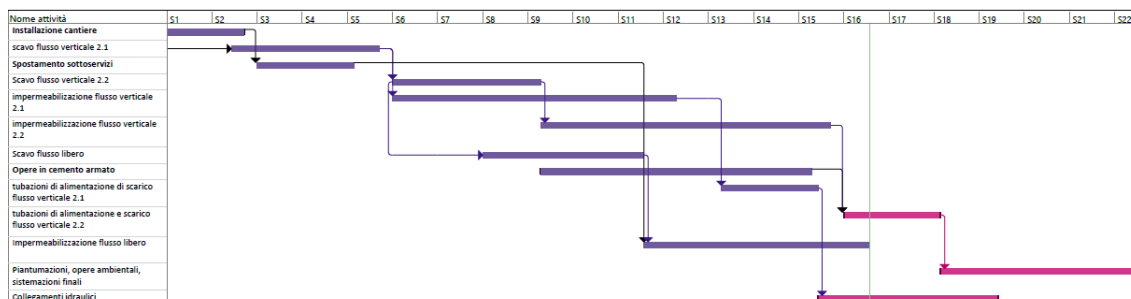


Figura 6.1: palo Enel all'interno del bacino a flusso verticale sommerso

6. CONCLUSIONI

Viene riportato il cronoprogramma delle opere per quanto è stato realmente eseguito nei primi 4 mesi di lavoro:

Tabella 6.1: cronoprogramma dello svolgimento dei lavori al quarto mese di attività, individuante anche le lavorazioni mancanti



Nell'appendice C viene riportato il cronoprogramma completo con le operazioni e i tempi previsti per la realizzazione.

In generale si nota come l'ultimo mese indicato risulta un stima ipotetica dello svolgimento dei lavori, che considera uno svolgimento totale di 22 settimane (una in più rispetto a quanto proposto in giustifica di gara: questa variazione di tempo è dovuta al fatto che non vengono considerate le sovrapposizioni di squadre nell'ultimo periodo, che potrebbe però implicare una sostanziale riduzione dei tempi.

Riferimenti bibliografici

[1] <http://www.puricelliambiente.it>

[2] <http://www.attestazionesoa.it/approfondimenti/categorie-soa/>

[3] <http://www.sudsevesoservizi.it>

[4] S. Salvati, A. Bianco, G. Bardasi, M. Cecilia, M. De Mattia, L. Giovannelli, R. Canepel, “Guida Tecnica per la progettazione e la gestione dei sistemi di fitodepurazione per il trattamento delle acque reflue urbane”, *ISPRA, Manuali e Linee Guida 81/2012*.

[5] R. Bresciani, N. Martinuzzi, “Trattamento dello scolmatore dopo sedimentazione primaria del depuratore di Carimate tramite sistemi di fitodepurazione - Relazione illustrativa”, 2015.

[6] R. Bresciani, N. Martinuzzi, “Trattamento dello scolmatore dopo sedimentazione primaria del depuratore di Carimate tramite sistemi di fitodepurazione” Elaborati progettuali, 2015.

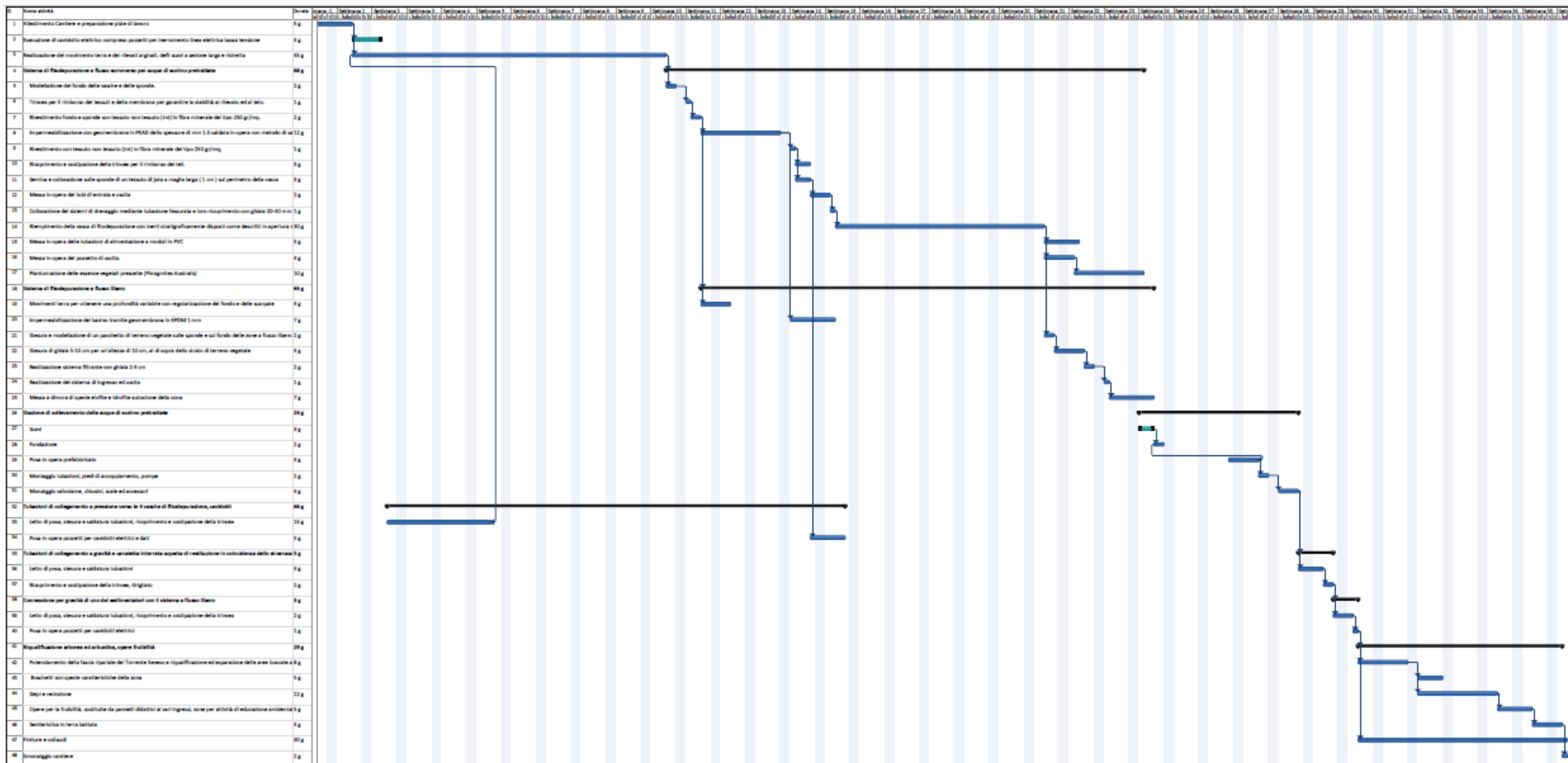
APPENDICE A

I CRONOPROGRAMMI COMPLETI

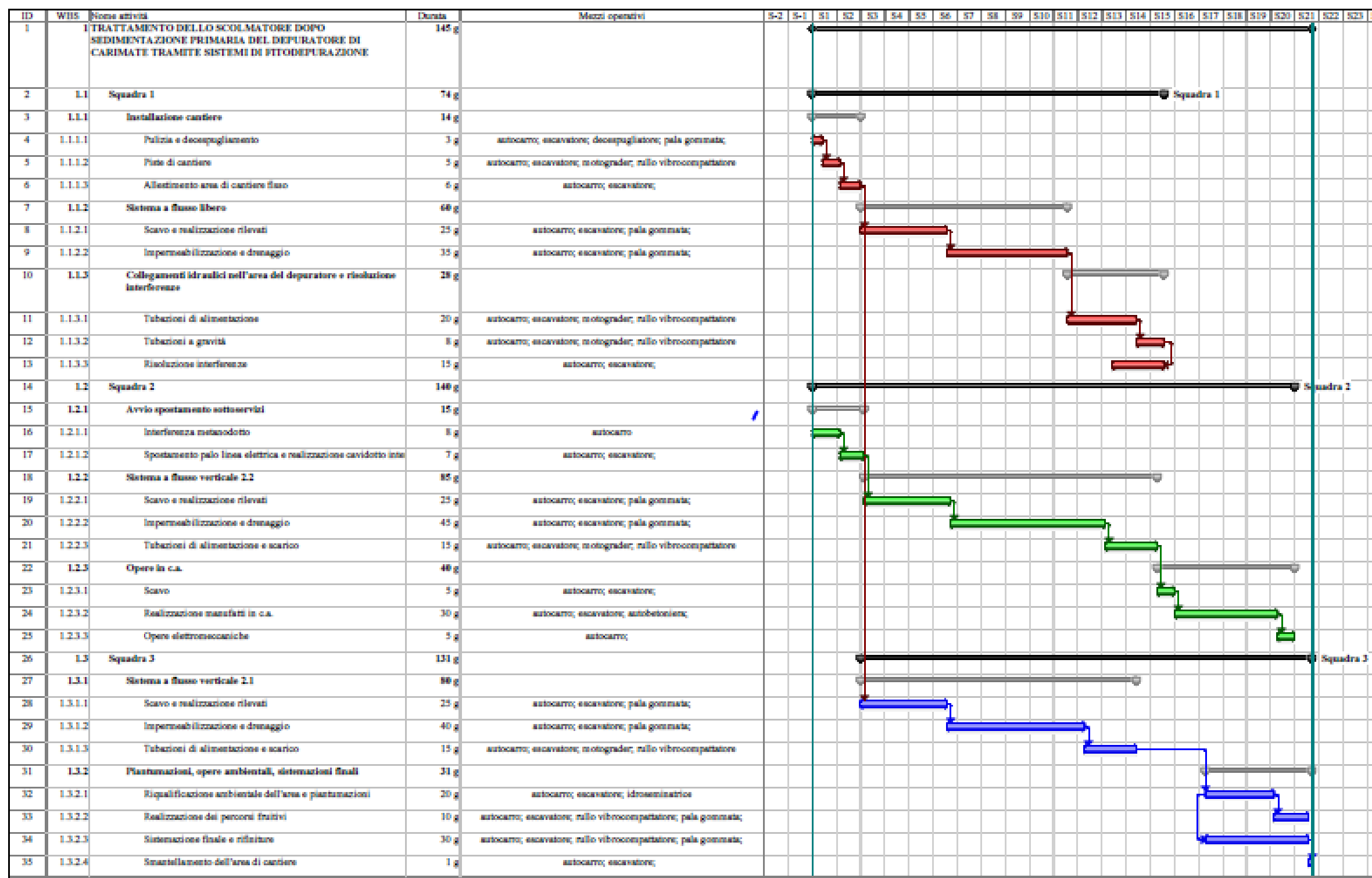
Per completezza, vengono riportati il cronoprogramma completo di progetto, quale valore esplicativo del capitolo 3, e il cronoprogramma esecutivo di giustificazione delle tempistiche proposte in gara d'appalto.

Questa soluzione é per rendere note le scelte legate alle tempistiche delle attività riassunte nei capitoli precedenti.

A.1 Cronoprogramma di progetto



A.2 Giustificativo tempistiche

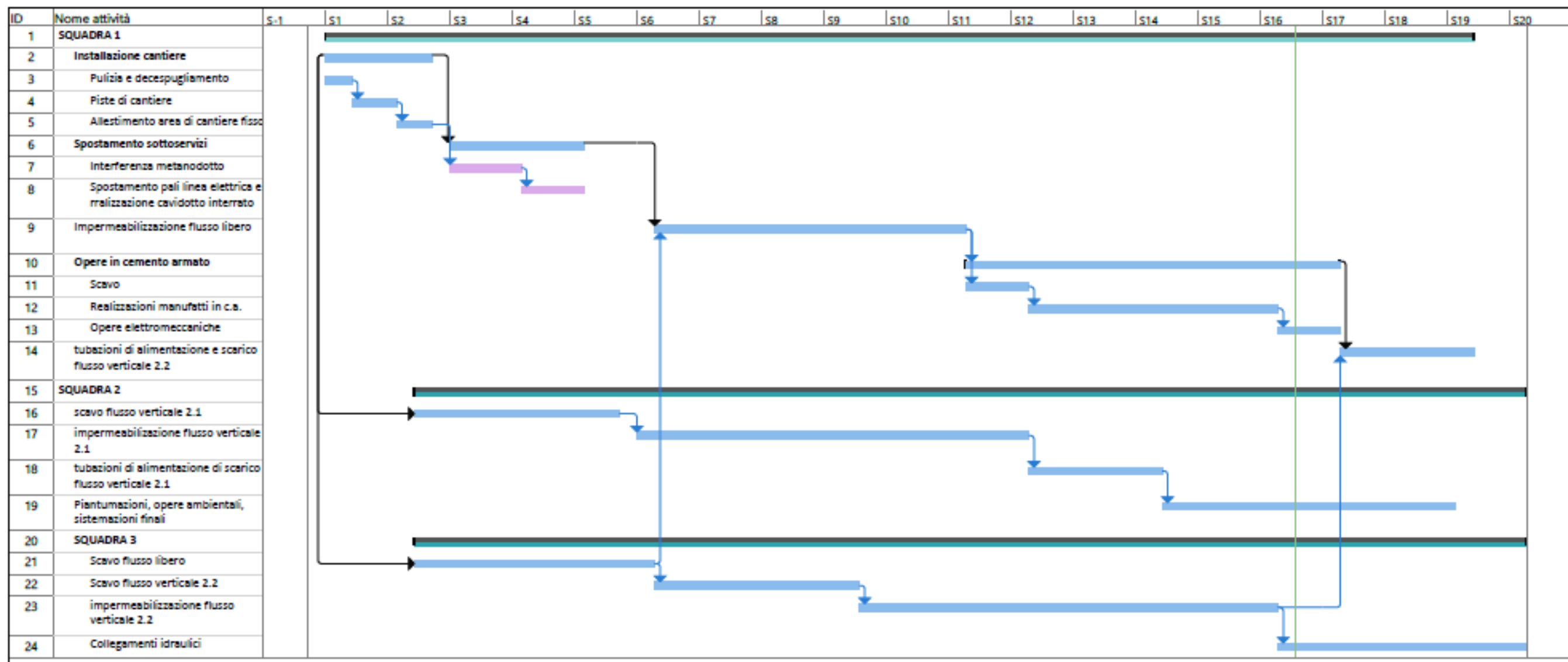


APPENDICE B

IL CRONOPROGRAMMA IPOTETICO

Per completezza, viene riportato la variazione al cronoprogramma ipotizzata nel capitolo 5, vengono inserite tutte le singole attività, non suddivise per macroattività ma indicate singolarmente.

B.1 Variante al cronoprogramma completo



APPENDICE C

IL CRONOPROGRAMMA SVOLTO

Per completezza, viene riportato il cronoprogramma completo delle lavorazioni svolte in cantiere. Si precisa che fino alla settimana 16 le lavorazioni indicate sono realmente quelle svolte al passare del tempo sul cantiere, mentre le ultime settimane sono una proiezione ipotetica di quanto previsto e mancante. In ogni caso le lavorazioni, senza considerare possibili sovrapposizioni tra diverse squadre ma considerando un'unica squadra lavorativa, risultano completate in un tempo paragonabile a quello proposto in gara (Appendice A.2), ritardato di appena una settimana lavorativa.

C.1 Cronoprogramma delle lavorazioni svolte

