Funded by the European Union NextGenerationEU

consorzio di bonifica di piacenza

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA

Strada Val Nure 3 – 29122 Piacenza

Titolo del programma:

PNRR MISSIONE 2 COMPONENTE 4 (M2C4).
Investimenti in infrastrutture idriche primarie per la sicurezza dell'approvigionamento idrico dell'investimento 4.1, Missione 2, Componente C4 del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR)

Titolo intervento:

Distretto irriguo Arda: rete di invasi Caolzio-Molinazzo-Moronasco sottesi alla diga di Mignano
LOTTO 2 - INVASO MOLINAZZO

Decreto di finanziamento: **MIMS - R. 0000517 in data 16-12-2021**

Soggetto attuatore: **CONSORZIO DI BONIFICA DI PIACENZA**

Localizzazione: Comuni di **CASTELL' ARQUATO** E **ALSENO** - Prov. di **Piacenza** - Regione **Emilia Romagna**

PROGETTO ESECUTIVO

Importo complessivo:
€ 11.000.000,00
COD. LOC: **00405**
CUP: **G17B20007720005**

Attività	Soggetto	Ente/Oe
PROGETTAZIONE		
Coordinatore dellla progettazione:	Ing. D. CASTELLI	STECI s.r.l.
GRUPPO DI PROGETTAZIONE		
Progettazione:	Ing. D. CASTELLI	STECI s.r.l.
Progetto idraulico:		
Elaborati grafici:		
Stime analitiche costo di costruzione:		
Sicurezza:		
Studio agronomico:		
COLLABORAZIONE		
Rilievi topografici:		
Sistemi telecontrollo:		
Sistema di esecuzione:		
Assistenza tecnico amministrativa:		

Redatto da:

STECI
SOCIETA' DI INGEGNERIA s.r.l.
13100 VERCELLI - C.so Liberta`, 162
Tel. +39 0161 215335 - Fax +39 0161 259070
email: info@stecisrl.it - pec: steci@pec.stecisrl.it

(Dott. Ing. Domenico CASTELLI)

L'impresa appaltatrice:

SOMOTER s.r.l.
Via XI Settembre, 23 Tel. 0171 266268
12011 BORGO SAN DALMAZZO (CN)
Partita IVA: 00804240042

RUP:
ARCH. PIERANGELO CARBONE

Titolo:

Gruppo Elaborati: **LOTTO 2**

Relazione tecnica generale

ELABORATO NUM.:
R1

DATA:
GENNAIO 2024

LIV. PROG:	LOTTO:	DOC:	PROGR:	TAV:	SCALA:	REV:	CODICE ELABORATI:
PE	2	.	.	.	.	3	.

Revisione:	Descrizione:	Redatto:	Data:	Verificato:	Data:	Approvato:	Data:
4							
3	RECEPIMENTO REPORT DI VERIFICA N°2 AGGIORNATO	STECI s.r.l.	SETTEMBRE 2024				
2	RECEPIMENTO REPORT DI VERIFICA N°2 DEL 26-07-2024	STECI s.r.l.	LUGLIO 2024				
1	RECEPIMENTO REPORT DI VERIFICA N°1 DEL 23-05-2024	STECI s.r.l.	GIUGNO 2024				
0	EMISSIONE	STECI s.r.l.	MARZO 2024				

INDICE

1 PREMESSA 3

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO 8

3 FINALITA' E REQUISITI DELL'OPERA 10

4 INQUADRAMENTO TERRITORIALE, AMBIENTALE E IRRIGUO 12

4.1 Aspetti fisici e idrografici 12

4.2 Aspetti geomorfologici e litologici 14

4.3 Aspetti climatici 14

4.4 Schema irriguo 16

4.4.1 Sintesi descrittiva dello schema irriguo Arda 17

4.4.2 Concessione di grande derivazione 18

4.4.3 Diga di Mignano 18

4.4.4 Traversa sull'Arda a Castell'Arquato 20

4.4.5 Pozzi 21

4.4.6 Distretti e comizi irrigui 22

4.4.7 Canalizzazione 25

4.4.8 L'uso reale del suolo 25

4.4.9 Attività di ricerca sull'uso reale del suolo: il telerilevamento satellitare nella gestione irrigua 26

5 LOCALIZZAZIONE DELL'OPERA E DATI GENERALI DEL PROGETTO 30

5.1 Individuazione del sito 30

5.2 Localizzazione dell'opera 30

5.3 Scelte costruttive 31

5.4 Miglioramento efficienza risorsa idrica 32

5.5 Schema funzionale di progetto 33

5.6 Bacino idraulico di carico 36

5.7 Bacino irriguo sotteso all'invaso 37

6 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO 39

6.1 Rete di adduzione 41

6.1.1 Manufatto di alimentazione 41

6.1.2 Tubazione di adduzione 43

6.1.2.1 Verifica idraulica della tubazione di adduzione 43

6.1.2.2 Dimensionamento dei collari anti-sifonamento 47

6.2 Invaso 51

6.2.1 Manufatto di carico 51

6.2.2 Bacino di accumulo 55

6.2.3 Rilevato arginale 55

6.2.3.1 Preparazione del terreno di fondazione 61

6.2.3.2 Tessuto non tessuto 63

6.2.3.3 Membrana impermeabile 63

6.2.3.4 Rete di sicurezza 70

6.2.3.5 Monitoraggio rilevati arginali invaso 70

6.3 Manufatti idraulici di regolazione e scarico invaso 70

6.3.1 Manufatto di scarico 70

6.3.1.1 Verifica idraulica della tubazione di distribuzione 74

6.3.1.2 Dimensionamento dei collari anti-sifonamento 78

6.3.2 Manufatto di scarico di superficie 81

6.4 Rete di distribuzione 85

6.4.1 Tubazione di distribuzione 85

6.4.2 Deviazione tubazione Terzuola dei Fiducia 87

6.5 Opere accessorie e ambientali ... 87
6.5.1 Pista ciclabile ... 87
6.5.2 Opere a verde ... 89

7 MIGLIORIE TECNICHE E OPERATIVE PROPOSTE IN SEDE DI GARA ... 90

8 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL TERRENO DI FONDAZIONE ... 101

9 CRITERI GENERALI DI CALCOLO E DI VERIFICA GEOTECNICA ... 107
9.1 Criteri generali di progetto e di verifica ... 107
9.2 Stima dei cedimenti ... 114
9.3 Calcolo della capacità portante dei terreni di fondazione ... 115
9.4 Verifiche a scorrimento ... 120
9.5 Verifiche a ribaltamento ... 121

10 VERIFICHE STRUTTURALI E GEOTECNICHE RELATIVE AL MANUFATTO DI ALIMENTAZIONE ... 121
10.1 Metodi di analisi e criteri di verifica strutturale ... 121
10.1.1 Resistenze di calcolo ... 122
10.1.2 Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU) ... 125
10.1.2.1 Dimensionamento armature longitudinali (verifica flessione) ... 125
10.1.2.2 Dimensionamento armature trasversali (verifica taglio) ... 126
10.1.2.3 Verifica a punzonamento ... 129
10.1.3 Verifiche agli Stati Limite di Esercizio (SLE) ... 130
10.1.3.1 Verifica di fessurazione ... 130
10.1.3.2 Verifica delle tensioni di esercizio ... 132
10.2 Valutazione delle azioni ... 133
10.2.1 Azione sismica ... 140
10.2.1.1 Stato limite di danno (SLD) ... 145
10.2.1.2 Stato limite di salvaguardia della vita (SLV) ... 147
10.3 Combinazioni di carico ... 149
10.4 Modelli di calcolo e di verifica ... 151
10.5 Risultati di calcolo e dimensionamento strutturale e geotecnico ... 151

11 PIANO DI GESTIONE DELLE TERRE E ROCCE DA SCAVO ... 167
11.1 Pianificazione dei lavori ... 170
11.2 Giudizio motivato di accettabilità dei risultati ... 171

12 PIANO PARTICELLARE DI ESPROPRIO E OCCUPAZIONE ... 171

13 ACCESSO ALL'AREA, CANTIERISTICA E RISOLUZIONE DELLE INTERFERENZE CON LE INFRASTRUTTURE E I SERVIZI A RETE ESISTENTI ... 172
13.1 Interferenze con infrastrutture e sottoservizi esistenti ... 172
13.2 Logistica di cantiere ... 174
13.3 Interferenze con la viabilità esterna ... 176
13.4 Fasi operative e layout di cantiere ... 177
13.5 Sicurezza ... 179
13.6 Salvaguardia ambientale del sito ... 183

14 CRITERI AMBIENTALI MINIMI ... 187
14.1 Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione ... 187
14.2 Specifiche tecniche progettuali relative al cantiere e all'ambiente ... 197

15 QUADRO AUTORIZZATIVO ... 202

16 CRONOPROGRAMMA LAVORI ... 204

17 QUADRO ECONOMICO DI SPESA ... 205

1 PREMESSA

Il Consorzio di Bonifica di Piacenza gestisce l'irrigazione collettiva piacentina da circa un secolo sul territorio di 55.400 ha del distretto idrografico padano compreso fra l'appennino emiliano e il Po.

L'attuale Consorzio di Bonifica è stato riordinato dalla Regione Emilia Romagna con la L.R. 24-4-2009, n. 5 e accorpa i preesistenti 2 Consorzi di bonifica piacentini (di est e di ovest) che già a seguito dei riordini degli anni '80 accorpavano i consorzi irrigui costituiti per la costruzione delle dighe del Molato (Consorzio irriguo val Tidone, 1917) e di Mignano (Consorzio irriguo val d'Arda, 1919), per l'unificazione degli antichi consorzi di Rivo (Consorzio dei Rivi di Destra del Trebbia, 1923 e Consorzio Generale Acque Trebbia, 1952) e per lo sfruttamento irriguo del Po in previsione della costruzione dello sbarramento Isola Serafini degli anni '60 (Basso Piacentino, 1953).

Il Consorzio nel periodo più recente con risorse proprie e grazie a investimenti del MIPAAF e del MEF (pianificazione UE 2007-2013), ha modernizzato gli schemi irrigui Tidone e Trebbia e ha in corso la ristrutturazione del sistema di automazione e telecontrollo dello schema irriguo del Basso Piacentino (BP). Gli interventi realizzati hanno ridotto le perdite e migliorato i rendimenti degli schemi Tidone e Trebbia. Quelli in corso nel BP sono orientati a ridurre i consumi energetici degli impianti di sollevamento mediante il bilanciamento del rapporto domanda/offerta irrigua.

Il Consorzio di Bonifica di Piacenza per consolidare la modernizzazione infrastrutturale e gestionale delle risorse idriche intrapresa nel settore irriguo intende utilizzare le risorse economiche rese disponibili dalla programmazione UE 2014-2020 orientate a implementare le strategie fissate da Europa 20-20-20: incremento dell'occupazione, R&S, adattamento ai cambiamenti climatici, istruzione e conoscenza, lotta a alla povertà.

L'Unione Europea con il Regolamento n. 1305/2013 ha previsto misure di cofinanziamento dei progetti di infrastrutture irrigue compatibili con gli obiettivi indicati nei Programmi di Sviluppo Rurale 2014-2020 (PSR) redatti a cura degli Stati membri.

Il Consorzio di Bonifica di Piacenza con le deliberazioni di Comitato Amministrativo n. 264 del 11-10-2017 ha individuato i progetti di infrastrutture irrigue da candidare ai bandi di finanziamento del PSRR regionale per rendere più efficiente l'uso dell'acqua nell'agricoltura e aumentare l'efficienza delle risorse idriche.

L'ufficio tecnico del Consorzio in data 31-10-2017 ha redatto il documento progettuale denominato "PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA INVASO IRRIGUO PRESSO LOC. MOLINAZZO (PC)", a firma dell'ing. Francesco Mantese ai fini dell'inserimento dell'opera nella programmazione triennale dei lavori pubblici del Consorzio di Bonifica di Piacenza.

Il documento progettuale è stato approvato dal Comitato Amministrativo del Consorzio con la deliberazione n. 324 in data 15-11-2017, ai fini dell'inserimento dell'opera nella programmazione triennale delle opere pubbliche consortili, nominando RUP l'ingegner Francesco Mantese, Il Consiglio di Amministrazione del Consorzio ha quindi aggiornato il Programma Triennale delle OO.PP. consortili 2017-2018-2019, inserendo l'opera in oggetto, con la deliberazione di Consiglio di Amministrazione n. 19 in data 24-11-2017.

L'opera è inoltre stata confermata nel Programma Triennale delle OO.PP. consortili 2018-2019-2020, approvato con la deliberazione di Consiglio di Amministrazione n. 20 in data 24-11-2017.

L'Ufficio tecnico del Consorzio ha, quindi, redatto il Progetto definitivo dell'opera sulla base del PFTE aggiornato con il grado di approfondimento progettuale previsto dal D.Lgs. n. 50/2016.

Il Progetto definitivo durante la fase di redazione è stato, quindi, verificato "in progress" dalla società Promoter Srl di Piacenza.

Il Consorzio di Bonifica di Piacenza nel 2018 ha partecipato al bando regionale di finanziamento, emanato dalla Regione Emilia Romagna, "*Programma di sviluppo rurale 2014-2020, Misura 4, tipo operazione 4.3.02, Infrastrutture irrigue*" candidando al finanziamento i tre seguenti progetti di invasi irrigui, afferenti lo schema irriguo Arda sotteso alla diga di Mignano (PC):

- invaso di Caolzio (Comune di Castell'Arquato), con capacità d'invaso di 100.200 m^3, per un costo complessivo dell'opera di € 2.640.000,00;
- invaso di Molinazzo (Comune di Alseno), con capacità d'invaso di 203.000 m^3, per un costo complessivo dell'opera di € 3.870.000,00;
- invaso di Moronasco (Comune di Alseno), con capacità d'invaso di 133.000 m^3, per un costo complessivo dell'opera di € 3.460.000,00;

I progetti definitivi di dette opere sono stati sottoposti a Valutazione di impatto ambientale e nel 2019 hanno tutti conseguito l'approvazione finale del Procedimento Autorizzatorio Unico di Valutazione di Impatto Ambientale (PAUR VIA) da parte della Regione Emilia Romagna.

A causa delle prescrizioni costruttive imposte dalla Conferenza di servizi in sede di VIA, il costo delle opere progettate è risultato più oneroso rispetto a quanto presunto in sede di progettazione definitiva. Per questo motivo il Consorzio, considerate le sfavorevoli condizioni generali di finanziamento ha rinunciato al finanziamento, in quanto la quota a carico Consorzio risultava eccedere la capacità di indebitamento dell'Ente.

Nel luglio 2020 il MIT avviava la programmazione del Piano nazionale invasi 2020-2029 e il Consorzio di Piacenza, in riscontro alla richiesta dell'Autorità distrettuale del fiume Po, segnalava la possibilità di realizzare l'investimento di 11 milioni di euro, per la realizzazione strategica di tutti e tre gli invasi sopra richiamati, anche in risposta alla recente crisi idrica del 2017 che, proprio in Val d'Arda, vedeva l'avvio della stagione irrigua con l'invaso della diga di Mignano completamente in secca.

Il Consorzio trasmetteva, quindi, la scheda-progetto aggregando in un unico quadro economico di 11 milioni di euro complessivi i tre progetti degli invasi irrigui. In tale costo risultavano così compresi anche i maggiori costi determinati dalle prescrizioni impartite dalla regione in sede di approvazione finale di ciascuna Valutazione di impatto ambientale.

Il Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibile (MIMS) con il Decreto n. 0000517 del 16.12.2021 ha approvato gli elenchi di opere classificate nei tre Allegati 1, 2 e 3, finanziabili in attuazione di quanto previsto dal Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza, le risorse destinate alla misura M2C4 - I4.1 "*Investimenti in infrastrutture idriche primarie per la sicurezza dell'approvvigionamento idrico*" e il presente intervento è compreso nell'Allegato 1 al decreto quale opera finanziabile identificata al n. 5 avente per titolo "*Distretto irriguo Arda: rete di invasi Caolzio-Molinazzo-Moronasco sottesi alla diga di Mignano*".

Al fine di rendere immediatamente disponibile la realizzazione degli interventi, il Consorzio intende procedere alla fase esecutiva delle opere mediante la forma dell'appalto integrato, suddividendo l'appalto in tre lotti funzionali, corrispondenti a ciascun singolo invaso.

La scelta dell'appalto integrato è stata motivata da:

- disponibilità immediata delle risorse del PNRR;
- semplificazione della procedura introdotta dalla legge 29 luglio 2021, n. 108, art. 48, c. 5;
- disponibilità del progetto definitivo verificato, conforme a quanto previsto dal Codice dei

contratti;

- disponibilità di diversi elaborati sviluppati a livello esecutivo richiesti dagli Enti sovra ordinati in sede di Conferenza di servizi di VIA;
- disponibilità di tutte le autorizzazioni necessarie per poter eseguire i lavori conseguite in sede di approvazione della procedura di Valutazione di impatto ambientale dell'opera.

Il Consorzio ha, pertanto, avviato la gara d'appalto sulla base della Revisione 2022 del progetto definitivo (aggiornamento prezzi da prezziario infrannuale 2022), integrato dai diversi elaborati esecutivi prodotti in sede di VIA, la quale ha visto aggiudicatario il raggruppamento temporaneo in modalità avvalimento costituito da Somoter Srl (impresa partecipante – avvalente) – STECI Srl (studio di progettazione – ausiliaria).

Nella presente relazione vengono, quindi, descritte in dettaglio, anche attraverso specifici riferimenti agli elaborati grafici, i criteri utilizzati per le scelte progettuali esecutive, per i particolari costruttivi e per il conseguimento e la verifica dei prescritti livelli di sicurezza e qualitativi, nonché l'illustrazione dei criteri seguiti e delle scelte effettuate per trasferire sul piano costruttivo le soluzioni spaziali, tipologiche, funzionali, architettoniche e tecnologiche previste dal progetto definitivo approvato e validato in data 16.12.2022 ai sensi dell'art. 26 del D.Lgs. n. 50/2016.

La presente relazione recepisce, aggiorna e, ove pertinente, integra altresì gli aspetti tecnici e i dettagli progettuali sviluppati nell'ambito della fase definitiva, in relazione anche alle proposte tecniche migliorative introdotte in fase di gara d'appalto integrato.

Si evidenzia che, per quanto riguarda i documenti inerenti gli aspetti di natura archeologica (documento R17), geologica (documento R18), idrologica (documento R19), Incidenza invaso su bilancio idrico (documento R21), Piano di gestione dell'invaso (documento R22), Valutazione tempi di interrimento (documento R23) e Verifica degli effetti prodotti a valle dell'invaso (documento R24), non avendo la progettazione esecutiva apportato alcuna variazione che ne richiedesse l'aggiornamento, sono stati confermati nei contenuti del progetto definitivo approvato e oggetto di validazione ai sensi dell'art. 26 del D.Lgs. n. 50/2016.

Si evidenzia, inoltre, che la progettazione esecutiva non prevede variazioni degli aspetti progettuali che comportino la necessità di aggiornamenti alle autorizzazioni, pareri e nulla osta in essere in quanto Si intendono, pertanto, recepite e richiamate tal quali le Relazioni tecniche e gli

Elaborati progettuali prodotti in fase definitiva e di Conferenza di servizi nell'ambito del Provvedimento Autorizzatorio Unico di VIA e, in particolare, propedeutici all'ottenimento delle varie autorizzazioni di carattere ambientale, paesaggistico, archeologico, interferenze con gli Enti gestori, Concessione di derivazione da acque pubbliche superficiali, Edilizio-urbanistico (Permesso di costruire), Gestione delle terre e rocce da scavo e Autorizzazione alla realizzazione dell'invaso ai sensi della D.C.R. n. 3109/1990 e s.m.i..

Alla presente progettazione esecutiva in appalto integrato, **oltre ai suddetti sette documenti allegati ma non aggiornati**, sono stati sviluppati, contestualizzati e redatti i seguenti documenti:

- R0 Elenco elaborati progetto esecutivo
- R1 Relazione tecnica generale
- R2 Relazione geotecnica
- R3 Capitolato speciale d'appalto - materiali ed elementi tecnici
- R3.1 Capitolato speciale d'appalto - materiali ed elementi elettrici
- R4 Piano di manutenzione delle opere:
- - Manuale d'uso
- - Manuale di manutenzione
- - Programma di manutenzione
- R5 Computo metrico estimativo con quadro economico di spesa
- R6 Analisi prezzi
- R7 Elenco prezzi unitari
- R8 Quadro incidenza manodopera
- R9 Cronoprogramma dei lavori
- R10 "Piano Particellare di esproprio ed occupazione temporanea
- stima, elenco ditte e indennità complessive - INTEGRAZIONE
- R11 Piano di sicurezza e coordinamento (D.Lgs. n.81/2008 e s.m.i.):
- -Relazione tecnica
- -Prescrizioni operative per il processo costruttivo
- R12 Relazione idraulica
- R13 Piano di utilizzo delle terre

- R14 Relazione opere elettriche
- R15 Relazione interferenze
- R16 Relazione opere a verde
- R20 Relazione di verifica del rispetto del DNSH

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il dimensionamento e la verifica delle opere sono stati condotti in conformità alla normativa nazionale vigente, ed in particolare, nel rispetto delle disposizioni di:

- Legge 5 novembre 1971, n. 1086 – Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380 e ss.mm.ii. – Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia.
- Ordinanza n. 3274 del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20.03.2003 e ss.mm.ii. – Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.
- D.M. 17 gennaio 2018 – Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni (N.T.C.-2018).
- CIRCOLARE 21 gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17.01.2018.
- D.M. 26.06.2014 – Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse).
- UNI EN 1991-1 e UNI EN 1990: Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture.
- UNI EN 1992-1-1: Eurocodice 2 – Strutture in calcestruzzo.
- UNI EN 1997-1: Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Regole generali.
- UNI EN 1997-2/3: Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Progettazione assistita da prove di laboratorio e da prove in sito.
- UNI EN 1998-5: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica.

Si è fatto, inoltre, riferimento, per quanto riguarda le combinazioni di carico e le situazioni progettuali, al D.M. 26 giugno 2014 - Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse).

Per la determinazione dei parametri sismici con approccio probabilistico, si è fatto riferimento agli Allegati A e B del Decreto del Ministero delle Infrastrutture del 14 gennaio 2008 e s.m.i. (D.M. 17.01.2018).

Ad integrazione dei predetti riferimenti normativi si è fatto, inoltre, riferimento alle seguenti Norme di scala Regionale, istruzioni applicative e comprovate linee guida:

- Delibera Giunta Regionale dell'Emilia-Romagna n. 146 del 06 giugno 2023 - Aggiornamento della classificazione sismica dei Comuni dell' Emilia-Romagna.
- Istruzioni del Consiglio Superiore dei LL.PP.
- Linee guida del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei LL.PP.
- Istruzioni e i documenti tecnici del Consiglio Nazionale delle Ricerche – Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (CNR – GNDT).
- Associazione Geotecnica Italiana (A.G.I.); giugno 1977 "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche".
- Associazione Geotecnica Italiana (A.G.I.); dicembre 1984 "Raccomandazioni sui pali di fondazione".
- Lancellotta R. (1993) "Geotecnica", II Edizione, Zanichelli – Bologna.
- Istruzioni e linee guida Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento di Protezione Civile, in collaborazione con ITC (Istituto per le Tecnologie delle Costruzioni) e il Consorzio ReLUIS (Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica).
- Norme UNI in materia di materiali da costruzione e per uso strutturale in vigore.
- D.M. 12.12.1985 – Norme tecniche relative alle tubazioni.
- Norma UNI 7517/1976 – Guida per la scelta delle classi dei tubi, che sono praticamente la rielaborazione in unità metriche della teoria di Marston, Schlick & Spangler, riguardante il calcolo dei carichi gravanti sui tubi interrati, in funzione della tipologia di posa.

3 FINALITA' E REQUISITI DELL'OPERA

Il progetto riguarda la realizzazione di un bacino di accumulo ad uso irriguo rientrante nel finanziamento PSRR Regionale 2014/2020 – Misura 4 - Tipo operazione 4.3.02 "*Infrastrutture irrigue*" - Focus Area P5A – Approvazione bando unico regionale anno 2017.

L'opera in progetto afferisce al settore irriguo. La finalità pubblica dell'operazione oggetto di finanziamento è rappresentata dal conseguimento degli obiettivi fissati dalla strategia Europa 20-20-20 e dal Regolamento UE n. 1305/2013 in ordine all'esigenza di rendere più efficiente l'uso dell'acqua nell'agricoltura e aumentare l'efficienza delle risorse idriche.

Gli **obiettivi strategici** di progetto mirano, in tal senso, al risparmio della risorsa e ad un uso più efficiente nel comprensorio irriguo Arda afferente al distretto idrografico del fiume Po e sono focalizzati sui seguenti punti:

- **adattamento ai cambiamenti climatici** assumendo azioni di contrasto alla siccità mediante l'uso intelligente della risorsa idrica in agricoltura;
- **efficientamento dell'uso della risorsa idrica** mediante la realizzazione di invasi ad uso irriguo che consentano di stoccare l'acqua nei periodi più piovosi per riutilizzarla nei periodi estivi;
- **contabilizzazione dell'utilizzo della risorsa** mediante il potenziamento dei sistemi di automazione e telecontrollo. Il MIPAAF con il Decreto 31-7-2015 ha approvato le "linee guida per la regolamentazione da parte delle Regioni delle modalità di quantificazione dei volumi idrici ad uso irriguo". Le linee guida consolidano il ruolo del SIGRIAN (Sistema Informativo Nazionale per la Gestione delle Risorse Idriche in Agricoltura) quale riferimento nazionale per la banca dati sui sistemi irrigui. Il coordinamento scientifico della gestione del database nazionale con lo stesso decreto è stato assegnato al CREA (Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'analisi dell'economia agraria). La Regione Emilia Romagna ha recepito le linee guida con le deliberazioni di giunta regionale n. 1415 del 5-9-2016 e n. 2254 del 21-12-2016. Con la prima sono stati fissati i fabbisogni medi irrigui stagionali dei diversi gruppi colturali articolata su base Provinciale (metodologia IRRINET) e sono stati fissati valori di orientativi di efficienza dei vari metodi di irrigazione. Con la seconda sono state interamente recepite le linee guida nazionali in ordine ai requisiti di qualità delle misurazioni in capo ai

Consorzi di Bonifica (irrigazione collettiva) e alle singole aziende (autoapprovvigionamento);

- **miglioramento della conoscenza dei sistemi irrigui e dei rapporti domanda/offerta**, mediante analisi della domanda e orientamento dell'offerta grazie ai sistemi complessi dei "consigli irrigui" all'utenza (ad esempio IRRINET o MANNA). In questa fase gli Enti gestori dell'irrigazione collettiva (Consorzi di Bonifica) assumono un ruolo centrale posto a cerniera fra le aziende agricole utilizzatrici dei servizi irrigui e gli Enti intermedi di programmazione e controllo (Ministeri, Regioni, Agenzie di distretto).

Il progetto risulta, inoltre, rispondente e compatibile con i criteri e i requisiti base previsti dall'art. 23 del D.Lgs. n. 50/2016, nel seguito riepilogati e per la disamina dei quali si rimanda direttamente agli elaborati tecnico-documentali allegati al progetto definitivo autorizzato e approvato:

a) soddisfacimento dei fabbisogni della collettività;
b) qualità architettonica e tecnico funzionale e di relazione nel contesto dell'opera;
c) conformità alle norme ambientali, urbanistiche e di tutela dei beni culturali e paesaggistici, nonché il rispetto di quanto previsto dalla normativa in materia di tutela della salute e della sicurezza;
d) limitato consumo del suolo;
e) rispetto dei vincoli idrogeologici, sismici e forestali nonché degli altri vincoli esistenti;
f) risparmio e l'efficientamento energetico, nonché la valutazione del ciclo di vita e della manutenibilità delle opere;
g) compatibilità con le preesistenze archeologiche;
h) razionalizzazione delle attività di progettazione e delle connesse verifiche attraverso il progressivo uso di metodi e strumenti elettronici specifici quali quelli di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture;
i) compatibilità geologica, geomorfologica, idrogeologica dell'opera;
j) accessibilità e adattabilità secondo quanto previsto dalle disposizioni vigenti in materia di barriere architettoniche.

4 INQUADRAMENTO TERRITORIALE, AMBIENTALE E IRRIGUO

Il distretto irriguo è situato nel territorio della pianura est della provincia di Piacenza, compreso fra le latitudini 44°55' – 44°59' N e le longitudini 9°49' – 10° E. Le dimensioni massime del distretto misurano 18,3 km nel senso NO-SE e 16,5 km nel senso NE-SO. Il territorio pianeggiante si estende sulla superficie complessiva di circa 15.392 ha. Il distretto è delimitato ad ovest dal torrente Riglio, ad est dal torrente Ongina, a nord dalla linea storica di confine fra l'ex Consorzio Val d'Arda e l'ex Consorzio Basso Piacentino, oltre la linea ferroviaria ad Alta velocità (quota media del piano campagna, 48,3 m s.l.m.), a sud dalla linea della pedecollina in corrispondenza di Castell'Arquato (quota media del piano campagna, 175 m s.l.m.). La pendenza media dei terreni nel senso N-S è circa del 7,6 per mille.

4.1 Aspetti fisici e idrografici

Il bacino del torrente Arda si sviluppa su una superficie di circa 440 km^2 (corrispondente a circa 1% del bacino del Po), il cui 32% ricade nel settore montano. L'Arda si immette in Po dopo un percorso di circa 56 km ricevendo 32 affluenti tra i quali il principale è il torrente Ongina che confluisce in Arda in destra, nasce in località Bignoni (485 m s.l.m.), dopo uno sviluppo di 39 km, risultato di un intervento artificiale. All'interno degli argini di Po, all'altezza di Polesine Parmense è ancora presente il precedente alveo dell'Ongina, "Ongina Vecchia", che con andamento pressoché parallelo all'argine confluisce oltre 3 km a valle rispetto alla foce dell'Arda, confondendosi ormai con le lanche di Po. Anche i due bacini idrografici hanno dimensioni equiparabili; quello dell'Ongina, di forma stretta e allungata, ha una parte collinare ancora più modesta rispetto all'Arda, con un reticolo idrografico molto poco articolato e per gran parte artificiale nella parte di pianura. Il bacino idrografico dell'Arda ha caratteristiche di bacino collinare e di pianura, essendo inserito rispettivamente tra quello del Nure, a ovest, e quello del Taro, a est, che chiudono la parte montana del territorio. Il suo reticolo idrografico secondario, sviluppato prevalentemente nella parte collinare, è caratterizzato da un'elevata tendenza all'erosione; l'affluente principale è il torrente Lubbiana, che sottende una superficie di 26 km^2.

Il reticolo idrografico è caratterizzato dalla presenza presso Mignano di un serbatoio artificiale, a uso essenzialmente irriguo, con capacità di invaso di 13 milioni di m^3 e bacino idrografico sotteso di 87,2 km^2. Il bacino idrografico dell'Arda è suddivisibile in quattro fasce. La prima, dalla sorgente

a Castell'Arquato, è costituita prevalentemente da alternanze di litotipi eterogenei a diverso comportamento meccanico (ADM) e in subordine da complessi strutturali caotici e tettonizzati (CSC) e depositi eterogenei di versante e trasporto torrentizio (DEV); inoltre, nella zona di sorgente, si incontrano litoidi sedimentari con frequenti discontinuità (LDS). La seconda fascia, fino a Fiorenzuola, è costituita da rocce tenere prevalentemente incoerenti (RTE). La terza fascia, che termina in prossimità di Cortemaggiore, è formata da depositi derivanti dall'alterazione di rocce e terreni (DCG). La quarta fascia è quella di pianura ed è costituita da alluvioni fluviali e fluviolacustri (AFL), che fiancheggiano i principali corsi d'acqua del bacino. Il bacino dell'Ongina può essere suddiviso in tre fasce. Nella prima, che si estende dalla sorgente a Castelnuovo Fogliani, si incontra una alternanza di termini a litologia eterogenea a diverso comportamento meccanico (ADM) e complessi strutturali caotici e tettonizzati (CSC); sul versante sinistro si ha un esteso affioramento di rocce tenere prevalentemente incoerenti (RTE). Nella seconda fascia, fino a S. Rocco, sono presenti depositi derivanti dall'alterazione di rocce e terreni (DCG). La terza fascia è quella di pianura ed è costituita da alluvioni fluviali e fluvioglaciali (AFL), che peraltro fiancheggiano i principali corsi d'acqua del bacino.

Il bacino del Chiavenna si colloca nella parte orientale del territorio della Provincia di Piacenza. Di piccole dimensioni, il bacino, che raccoglie anche le acque dei torrenti Riglio e Chero, si trova inserito rispettivamente tra i bacini del Nure, a ovest, dell'Arda e del Taro, a est, che chiudono la parte strettamente montana del territorio. Ha una superficie complessiva di circa 340 km^2 (42% in ambito montano): 0,5% della superficie dell'intero bacino del fiume Po. Il torrente Chiavenna ha origine nella zona di media montagna della provincia di Piacenza, dalla falda nord-est del monte Taverne (806 m s.l.m.) e confluisce nel Po all'altezza di Caorso; riceve in sinistra, già in pianura, i due importanti affluenti Chero e Riglio (che confluisce poco a monte di Caorso) che hanno bacini montani di dimensioni paragonabili (quello del Chero di 81,7 km^2, quello del Riglio di 122,9 km^2). Il reticolo idrografico principale è costituito dai tre corsi d'acqua che scorrono in bacini idrografici di forma stretta e allungata. Il reticolo idrografico secondario, poco articolato e per gran parte artificiale, è sviluppato prevalentemente nella parte di pianura, con andamento preferenziale parallelo alle aste principali.

4.2 Aspetti geomorfologici e litologici

Le principali formazioni che affiorano nel bacino appartengono alle Unità Liguri e sono costituite prevalentemente da flysch marnoso-calcarei e arenacei (calcari di Bettola, flysch di Farini d'Olmo, flysch di Monte Cassio e flysch di Monte Dosso, Lunetta e Monte Sporno) che poggiano sui complessi di base; questi ultimi rappresentano l'originaria base stratigrafica dei flysch e sono rappresentati da estesi corpi sedimentari intensamente deformati, prevalentemente argillitici o argillitico-arenacei. In corrispondenza di tali affioramenti si rileva il maggior numero di dissesti. La successione plio-pleistocenica, rappresentata da unità argilloso-siltose con caratteristica morfologia calanchiva o da componenti sabbioso-calcarenitiche, costituisce i primi rilievi collinari a ridosso della pianura.

4.3 Aspetti climatici

Il bacino del Po appartiene all'ecoregione Paleartic PAO432 compresa fra gli archi di latitudine 43-46° nord e longitudine 7-15° est delimitata a nord dalle Alpi e a sud dagli Appennini. Circa l'80% della superficie è occupato da terreni agricoli, il 10% da urbanizzazioni e il rimanente 10% da infrastrutture.

Il clima del territorio piacentino è temperato o di tipo "Cfa" secondo Köppen (temperatura media del mese più freddo compresa tra -3°C e +18°C); più in particolare il territorio di pianura e collina risulta caratterizzato da un clima temperato subcontinentale (temperatura media annua compresa tra 10°C e 14,4°C, temperatura media del mese più freddo compresa tra -1°C e +3,9°C, escursione annua superiore a 19°C), mentre il territorio di montagna è caratterizzato da un clima temperato fresco (temperatura media annua compresa tra 6°C e 10°C, temperatura media del mese più freddo compresa tra 0°C e +3°C, media mese più caldo tra 15 e 20°C, escursione annua tra 18 e 20°C).

Il profilo pluviometrico è caratterizzato dal regime sublitoraneo appenninico o padano. L'altezza totale annua delle precipitazioni è pari a circa 850-900 mm nella fascia della pianura piacentina distribuiti su 80-85 giorni piovosi, mentre sale a 1000-1500 mm nella fascia della media collina su circa 100 giorni piovosi, subendo un incremento mediamente proporzionale all'aumento di altitudine.

Per quanto concerne i servizi resi disponibili dal MIPAAF, l'Osservatorio Agroclimatico è lo

strumento SIAN per il monitoraggio degli eventi meteorologici che hanno una diretta influenza sull'ambiente agricolo e sul ciclo vegetativo delle colture tanto da condizionarne le produzioni finali. La criticità dell'evento meteorologico può essere dedotto dal confronto dei dati e delle statistiche meteorologiche pubblicate con i rispettivi valori climatici. Si riporta di seguito la tabella dell'Osservatorio Agroclimatico: Aree geografiche - Provincia - PIACENZA relativa all'analisi degli anni 2007-2016:

Piacenza	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Temp. minima	6,7	6,7	8,1	7	7,7	7,7	7,4	8,7	8,4	7,9
Media climatica	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9
Scarto dal clima	0,8	0,8	2,2	1,1	1,8	1,8	1,5	2,8	2,5	2
Temp. massima	17	16,5	16,8	14,7	16,4	16,4	15,3	16,3	16,5	16,1
Media climatica	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3
Scarto dal clima	1,7	1,2	1,5	-0,6	1,1	1,1	0	1	1,2	0,8
Precipitazione	698,7	944,9	903,4	1008,2	719,7	780	1102,7	1336,6	707,6	762,3
Media climatica	911,2	911,2	911,2	911,2	911,2	911,2	911,2	911,2	911,2	911,2
Scarto dal clima	-23,3	3,7	-0,9	10,6	-21	-14,4	21	46,7	-22,3	-16,3
Evapotraspirazione	907	820,2	862,8	777,3	903,7	894,8	823,2	733,9	797,8	692,2
Media climatica	730	730	730	730	730	730	730	730	730	730
Scarto dal clima	24,2	12,4	18,2	6,5	23,8	22,6	12,8	0,5	9,3	-5,2

fonte: https://www.politicheagricole.it/flex/FixedPages/Common/miepfy700_provincie.php/L/IT?name=00062&%20name1=8

La Regione Emilia Romagna (ARPAE) ha recentemente prodotto l'Atlante climatico dell'Emilia Romagna 2017. L´Atlante climatico dell'Emilia-Romagna è il prodotto dell´analisi climatica giornaliera 1961-2015 e presenta un confronto tra il clima attuale (anni 1991-2015) e quello del trentennio di riferimento 1961-1990. Nella pubblicazione sono disponibili mappe annuali e stagionali relative a temperature, precipitazioni, evapotraspirazione potenziale e bilancio idroclimatico. Inoltre l'Atlante contiene grafici con le tendenze in atto, informazioni sulla possibile evoluzione del clima regionale in futuro, e una tabella climatica comunale. Di seguito si riporta la tabella dei dati dei principali indicatori aggregati su base Comunale dei Comuni interessati dal Comprensorio irriguo e di alcuni Comuni esterni di riferimento (ad esempio il capoluogo Piacenza).

Comune	ALSENO	BESENZONE	CADEO	CAORSO	CARPANETO PIACENTINO	CASTELL'ARQUATO	CASTELVETRO PIACENTINO	CORTEMAGGIORE	FIORENZUOLA D'ARDA	LUGAGNANO VAL D'ARDA	MONTICELLI D'ONGINA	MORFASSO	PIACENZA	PONTENURE	SAN GIORGIO PIACENTINO	SAN PIETRO IN CERRO	VERNASCA	VILLANOVA SULL'ARDA
Tmed 61-90	12,4	12,6	12,6	12,6	12,4	12,3	12,7	12,7	12,5	12,1	12,6	10,2	12,7	12,6	12,3	12,6	11,7	12,7
Tmed 91-15	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7	13,6	13,8	13,7	13,7	13,1	13,7	11,3	14	13,7	13,6	13,7	12,7	13,8
Prec 61-90	835	819	821	832	839	860	830	817	808	978	837	1119	826	823	860	832	1008	819
Prec 91-15	837	759	779	779	830	855	763	761	785	902	771	1042	794	782	829	759	945	764

fonte: https://www.arpae.it/dettaglio_generale.asp?id=3811&idlivello=1591

4.4 Schema irriguo

Lo schema complessivo del distretto irriguo in oggetto è composto dalla diga di Mignano, dal torrente Arda che per circa 11 km funge da vettore di adduzione delle acque derivate, dalla traversa di Castell'Arquato, da cui dipartono i canali adduttori principali in destra e sinistra Arda che alimentano i rispettivi distretti. I due canali principali, in destra e in sinistra Arda, hanno uno sviluppo complessivo di quasi 23 Km. Il canale principale di sinistra insiste sul tracciato dell'antico "Rivo Sforzesco" scavato fra il XIV ed il XV secolo per uso irriguo e macinatorio, funzioni entrambe tuttora espletate. Dai due canali principali si diramano le reti secondarie e terziarie di distribuzione. Nel complesso la lunghezza delle canalizzazioni è pari a circa 384,5 Km. La rete di distribuzione è costituita da canali a cielo aperto in terreno e calcestruzzo e da condotte realizzate in materiale plastico, cemento o acciaio.

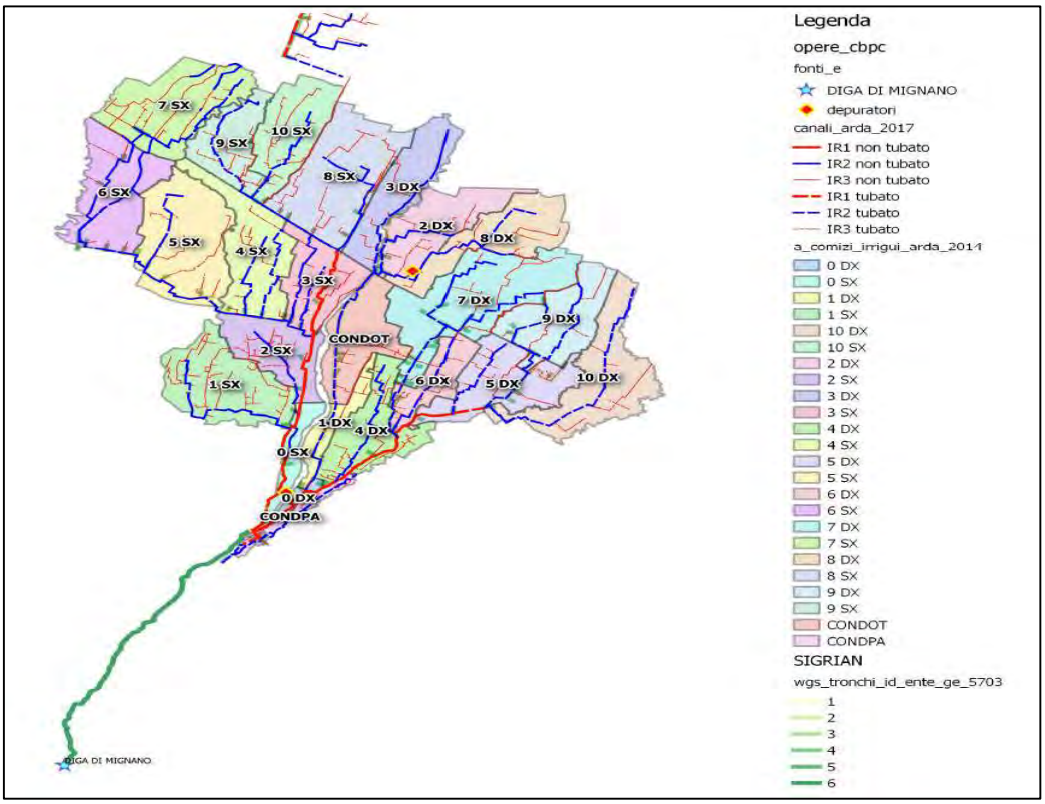


Figura 1 – Schema distretto irriguo oggetto di intervento.

L'areale irriguo servito dall'opera in progetto è compreso nello schema irriguo ARDA (SIGRIAN).

4.4.1 Sintesi descrittiva dello schema irriguo Arda

Fonti e concessioni:

- torrente Arda, R.D. 9168 del 31.10.1919, concessione di grande derivazione: corpo idrico torrente Arda; Comune Morfasso; concessione R.D. 9168 del 31.10.1919; quantità moduli 19; località presa traversa di Castell'Arquato;
- pozzi: Canalone Callori (Gallo di Fiorenzuola), Guglielmetti (Fiorenzuola), Desmontata (Fiorenzuola), Sabadino Trabucchi (Fiorenzuola), Zena (Carpaneto P.no), pozzo Zappellazzo (Carpaneto P.no) [Non oggetto di progettazione PNRR].

Punti di presa:

- torrente Arda, traversa di Castell'Arquato;
- 6 pozzi [Non oggetto di progettazione PNRR , dati riportati ai soli fini del quadro conoscitivo].

Superfici

- Superficie territoriale: 15.392,60 ha
- Superficie attrezzata in totale (dato DBRT2011): 13.433,84 ha

- Superficie attrezzata sinistra Arda (dato DBRT2011): 7.584,99 ha
- Superficie attrezzata destra Arda (dato DBRT2011): 5.848,85 ha

Reti

- lunghezza complessiva: 354,7 km
- canalizzazione principale: 21,1 km
- canalizzazione secondaria: 139,7 km
- canalizzazione distribuzione: 193,9 km

4.4.2 Concessione di grande derivazione

La concessione di grande derivazione di acqua pubblica e gestione dell'impianto è stata assentita con R.D. n. 9168 del 31.10.1919. La concessione contemplava la possibilità di derivare 19 moduli d'acqua e la formazione di un grande invaso artificiale per la raccolta e la regolazione delle acque a uso irriguo a favore del comprensorio di circa 14.000 ettari che interessava i comuni di Cadeo, Cortemaggiore, Alseno, Fiorenzuola, Castell'Arquato e Carpaneto. Il periodo irriguo veniva fissato dal 15/4 al 15/9 di ciascn anno.

La concessione è stata poi dettagliata con il "disciplinare aggiuntivo di concessione" n. 1438 in data 09.02.1935. Successivamente il Consorzio di Bonifica ha formalizzato la domanda di rinnovo prot. n. 1950/5-1 del 08.10.1987 indirizzata all'allora Nucleo Operativo Provveditorato OO.PP. Per l'Emilia Romagna di Piacenza, prot. n. 1144 del 15.10.1987.

L'ubicazione dell'opera di presa è identificata da:

- Diga di Mignano (invaso), Comune di Vernasca, Foglio n. 39, mappale n. 186. Sistema di riferimento EPSG 25832, x = 563.379,289 m, y = 4.957.859,452 m.
- Traversa di Castell'Arquato (presa), Comune di Castell'Arquato, Foglio n. 41, partita Acque. Sistema di riferimento EPSG 25832, x = 568.464,367 m, y = 4.966.494,859 m.

4.4.3 Diga di Mignano

La diga di Mignano, posta nell'Appennino Piacentino ad una quota di coronamento pari a 342 m s.l.m. fu realizzata dal Consorzio Irriguo della Val d'Arda nel periodo 1926 ÷ 1934 sul torrente Arda, affluente di destra del fiume Po a seguito dell'ottenimento della concessione di grande derivazione dall'Arda.

La diga è del tipo a gravità massiccia, in calcestruzzo con blocchi di pietrame annegati, ad andamento planimetrico arcuato (arco di cerchio con raggio di 500 m) tracimabile nella parte mediana. L'altezza del piano di coronamento sul punto più depresso della fondazione è pari a 64 m, lo sviluppo del coronamento è di 341 m, il paramento di monte è pressoché verticale mentre quello di valle ha una inclinazione dell' 80%. Gli organi di scarico sono costituiti da uno scarico di superficie in fregio al coronamento, due scarichi intermedi costituiti da tubazioni del diametro di 1700 mm e due scarichi di fondo costituiti da due altre tubazione del diametro di 1700 mm. La superficie del bacino imbrifero direttamente sotteso dalla diga è pari a 87,2 km^2. con un'altezza media di 750 m s.l.m. e una altezza massima (monte Menegosa) di 1355 m s.l.m..

Lo stato attuale della diga è frutto di rilevanti interventi di ristrutturazione, prescritti e poi approvati dagli organi tecnici competenti, attualmente la Direzione Generale Dighe del Ministero Infrastrutture e Trasporti, e finanziati dal Ministero per le Politiche Agricole Alimentari e Forestali negli anni '90 e 2000. Gli interventi sono stati ultimati e la diga risulta oggi in attesa di autorizzazione al collaudo funzionale ex art. 14 DPR 1363/59. L'invaso del bacino di Mignano consente l'irrigazione "a gravità" del comprensorio consorziato, in un periodo mediamente compreso tra i 70 e gli 80 giorni.

La diga viene utilizzata anche per esercitare una derivazione ad uso acquedottistico, concessa all'allora Consorzio Acquedotto della Val d'Arda, oggi ATERSIR: tale derivazione avviene mediante cinque cuffie poste a varie quote sul paramento di monte della diga e mediante una condotta che corre per circa 350 m all'interno del corpo diga e adduce l'acqua a un pozzetto appena a valle del cancello di valle della diga. La diga viene, inoltre, utilizzata per esercitare una derivazione ad uso idroelettrico concessa all'allora società SAICE, oggi Buzzi-Unicem: tale derivazione, attualmente non in esercizio, è alimentata tramite uno degli scarichi di mezzofondo (quello dotato di valvola a farfalla) e restituisce l'acqua appena a valle della diga.

Le seguenti convenzioni regolano i rapporti tra il Consorzio e gli esercenti delle altre concessioni di derivazione:

- Convenzione 3 luglio 1957 tra Consorzio di Bonifica e società SAICE, attualmente non attiva;
- Convenzione 8 aprile 1987 tra Consorzio Acquedotto val d'Arda e Consorzio di Bonifica della val d'Arda.

L'invaso di Mignano è, infine, utilizzato anche per attività turistico-ricreativo: a tal fine sono

state realizzate aree di sosta attrezzate e un sentiero in sponda sinistra.

4.4.4 Traversa sull'Arda a Castell'Arquato

Le acque invasate nella diga di Mignano, durante l'esercizio irriguo vengono rilasciate dalla diga e percorrono il torrente Arda per circa 11 km, torrente che in questo caso assume la funzione di vettore delle acque irrigue, fino a giungere alla traversa di Castell'Arquato.

La traversa di Castell'Arquato è un'opera idraulica trasversale al torrente Arda, sita presso il capoluogo comunale Castell'Arquato, costruita per la derivazione delle acque irrigue e la loro immissione nei due canali dispensatori di adduzione principale in sinistra Arda (Canale della Sforzesca) e destra Arda (Canale principale di destra). L'opera idraulica trasversale dispone di paratie mobili per la creazione di un piccolo invaso di monte, tale da produrre un leggero innalzamento del pelo libero del torrente e quindi alimentare a gravità i due canali dispensatori. L'opera dispone inoltre di paratoie d'ingresso ai due canali dispensatori che consentono la misurazione delle derivazioni, modulabile durante la stagione irrigua, in ragione della domanda di risorsa espressa dai due distretti sottesi alla sinistra e alla destra dell'opera.

La traversa è una struttura fissa in muratura di calcestruzzo tracimabile, ad asse rettilineo, cava internamente e protetta a valle da una gabbionata a sua volta rivestita di calcestruzzo. E' fondata su argilla azzurra assai compatta nella quale è incassata per circa 50 cm ed ha due giunti di dilatazione. La traversa ha uno sviluppo longitudinale di 66 metri con un'altezza fuori terra rispetto al greto del torrente pari a circa 2,5 metri ed a ciascuna delle estremità sono installate due paratoie piane munite di scudo metallico costituenti una lo sghiaiatore e l'altra la bocca di immissione nella vasca di carico del canale collettore. Nella parte centrale della traversa è presente una paratoia mobile a scomparsa che viene aperta nei momenti di forte rilascio per ottenere l'effetto di riportare al centro il filone principale e consentire il passaggio a valle del materiale di trasporto. La paratoia occupa la parte centrale della traversa, è incernierata sul fondo e movimentata mediante pistoni idraulici. La larghezza della paratoia è di 30 metri mentre l'altezza di ritenuta d'acqua di 2 metri con estradosso complanare alle parti laterali della traversa. La stessa paratoia è definibile "a scomparsa" poiché, una volta aperta si dispone orizzontalmente sul fondo e di essa non rimane alcun organo a vista. Tali dimensioni consentono, per piene fino a 138 m^3/s, di far defluire l'intera portata senza sormonti d'acqua.

4.4.5 Pozzi

I pozzi ad uso irriguo sono stati realizzati negli anni passati ad integrazione delle dotazioni irrigue dei terreni posti in prossimità della via Emilia, a valle della quale iniziano a registrarsi situazioni di scarsità della risorsa. I pozzi irrigui sono stati costruiti dal Consorzio di Bonifica negli anni '50/'60 a integrazione delle dotazioni irrigue del distretto di sinistra Arda posti ai margini del comprensorio, caratterizzati da lunghe percorrenze dei canali e conseguenti diseconomie dell'uso della risorsa. Negli anni il Consorzio ha eseguito progressivi interventi conservativi dei pozzi e delle parti elettromeccaniche e attualmente i pozzi sono in esercizio. Di seguito si riportano i dati essenziali dei pozzi completi di toponomastica e estremi amministrativi degli atti concessori:

- **Canalone Callori** (Gallo di Fiorenzuola), concessione di costruzione e derivazione n. 1384 del 30.01.1968, portata concessa max e media (40-30 l/s), domanda di concessione preferenziale n. 5633 del 29.06.2001, posizione pratica regionale PCPPA0597;
- **Canalone Guglielmetti** (Tussi-Orvi, Fiorenzuola) concessione di costruzione e derivazione n. 1384 del 30.01.1968, portata concessa max e media (40-30 l/s), domanda di concessione preferenziale n. 5632 del 29.06.2001, posizione pratica regionale PCPPA0596;
- **Desmontata-Bonati** (Fiorenzuola), concessione di costruzione e derivazione n. 1384 del 30-1-1968, portata concessa max e media (40-30 l/s), domanda di concessione preferenziale n. 5628 del 29.06.2001, posizione pratica regionale PCPPA0598;
- **Sabadino Trabucchi** (Fiorenzuola), concessione di costruzione e derivazione n. 1384 del 30.01.1968, portata concessa max e media (90-80 l/s), domanda di concessione preferenziale n. 5627 del 29-6-2001, posizione pratica regionale PCPPA0646, richiesta integrazioni da parte della Regione con nota n. PG.2012.0258333 del 06.11.2012, riscontrata dal Consorzio con nota prot. n. 1029 del 04.02.2013;
- **Zena** (Carpaneto P.no), concessione di costruzione e derivazione n. 446 del 12.01.1955, portata concessa max (80 l/s), domanda di concessione preferenziale n. 5630 del 29.06.2001, posizione pratica regionale PCPPA0594;
- **Zappellazzo** (Carpaneto P.no), concessione di costruzione e derivazione n. 5832 del 13.04.1957, portata concessa max e media (40-30 l/s), domanda di concessione preferenziale n. 5629 del 29.06.2001, posizione pratica regionale PCPPA0593, richiesta integrazioni da parte della Regione con nota n. PG.2009.226069 del 12.10.2009, riscontrata dal Consorzio

con nota prot. n. 2691 del 14.12.2009.

4.4.6 Distretti e comizi irrigui

Il territorio ha come baricentro l'area urbana di Fiorenzuola. A sud i distretti partono dal limite della collina e seguono la destra e la sinistra Arda. L'asse della Via Emilia direzione NO-SE assieme all'asta fluviale dell'Arda suddividono il comprensorio in quattro aree di analoga estensione territoriale. Lo schema irriguo mappato prevede, pertanto, la suddivisione del comprensorio irriguo Arda in quattro distretti divisi secondo la destra e sinistra del torrente Arda e secondo la giacitura posta a monte e a valle della via Emilia, corrispondente ai seguenti parametri:

- la classificazione rispetto alla destra e sinistra del torrente Arda rispetta il riparto delle acque che dalla traversa di Castell'Arquato mediante i due canali dispensatori principali, il Canale della Sforzesca in sinistra e il Canale Principale di Destra in destra, alimenta i due comparti;
- la classificazione rispetto alla via Emilia (a monte e a valle) rispetta la diversa percorrenza delle acque che determina la condizione di criticità a valle della via Emilia, dovuta alla distanza dei due comparti rispetto all'opera di presa (traversa di Castell'Arquato).

I comizi irrigui costituiscono un'ulteriore suddivisione del comprensorio irriguo Arda in funzione della rete di distribuzione delle acque.

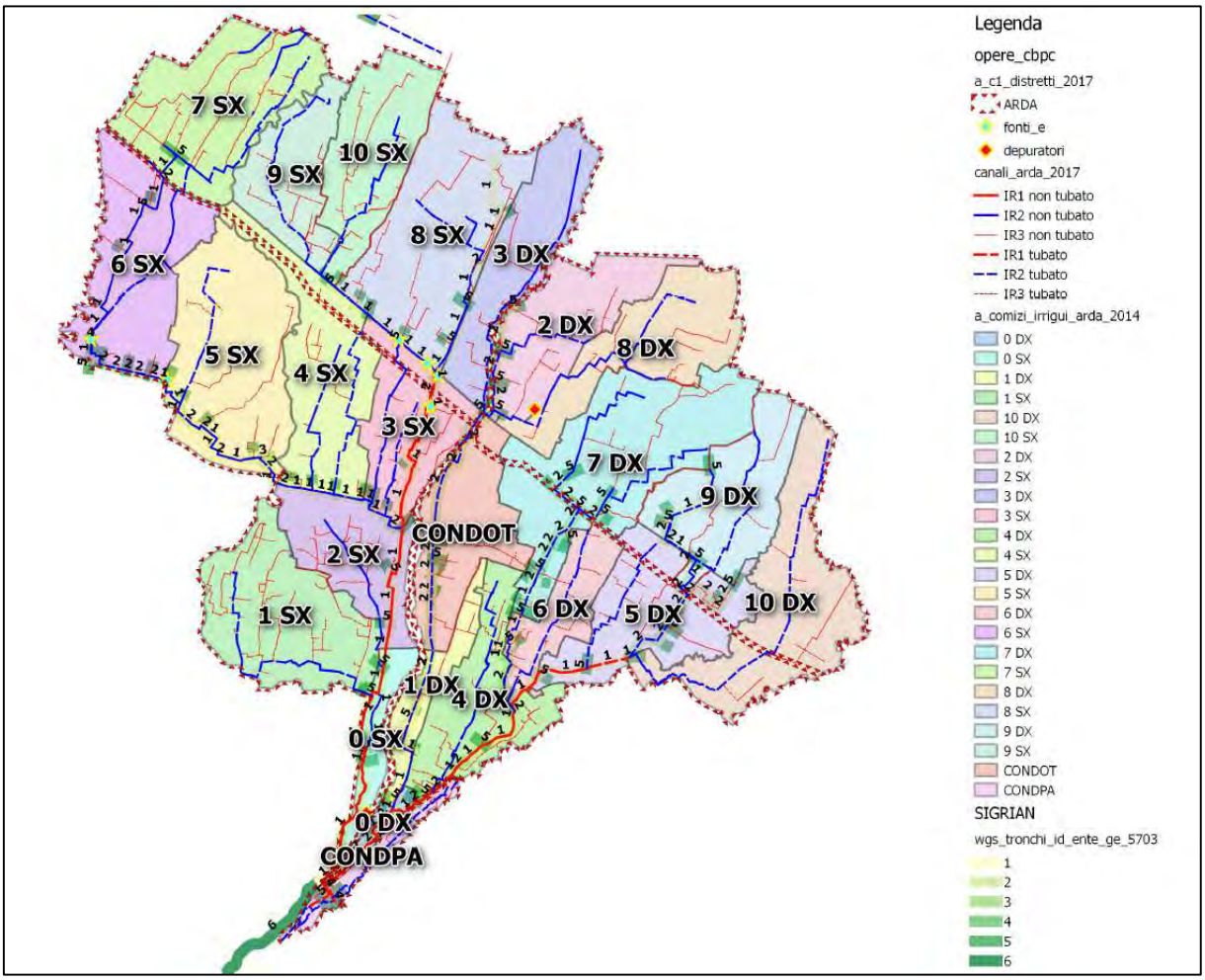


Figura 2 – Schema comizi irrigui Arda.

L'irrigazione si esercita di norma da aprile a settembre. La distribuzione è a turnazione in 21 comizi rispettivamente numerati progressivamente da monte verso valle, in destra e sinistra Arda.

I canali dispensatori principali di destra e sinistra Arda alimentano i canali di adduzione ai comizi secondo il seguente schema:

Distretti Arda (SIGRIAN)	Comizio	Sup. Terr. [ha]	Canale Dispensatore	Canale Adduzione comiziale
Sinistra monte	0 SX	203.66	Canale della Sforzesca	Diversivo della Sforzesca
Sinistra monte	1 SX	852.24	Canale della Sforzesca	Secondario dei Dossi
Sinistra monte	2 SX	523.32	Canale della Sforzesca	Secondario dei Doppi
Sinistra monte	3 SX	551.79	Canale della Sforzesca	Primario di Cadeo
Sinistra monte	4 SX	764.09	Canale della Sforzesca	Primario di Cadeo
Sinistra monte	5 SX	1,035.89	Canale della Sforzesca	Primario di Cadeo
Sinistra monte	6 SX	823.19	Canale della Sforzesca	Primario di Cadeo
Sinistra valle	7 SX	908.07	Canale della Sforzesca	Primario di Cadeo
Sinistra valle	8 SX	1,050.42	Canale della Sforzesca	Primario di Roveleto
Sinistra valle	9 SX	490.34	Canale della Sforzesca	Primario di Roveleto
Sinistra valle	10 SX	635.93	Canale della Sforzesca	Primario di Roveleto
Totale	**Sinistra**	**7,838.95**		
Destra monte	0 DX	64.87	Principale di destra	--
Destra monte	1 DX	233.73	Condotta Morignano	--
Destra valle	2 DX	612.11	Condotta Morignano	Braida Ca' Selvatica
Destra valle	3 DX	594.39	Condotta Morignano	Lungo Arda
Destra monte	4 DX	608.68	Principale di destra	Martella Ca' Grossa
Destra monte	5 DX	733.21	Primario di Alseno	Pratovalente (Panatera e Alseno)
Destra monte	6 DX	346.99	Principale di destra	Princ. Fiorenzuola e Terziario dei Fiducia
Destra valle	7 DX	1,185.30	Principale di destra	Princ. Fiorenzuola e Caselle - Roda R.
Destra valle	8 DX	666.18	Condotta Morignano	Braida e Canale del Mulino Fiorenzuola
Destra valle	9 DX	674.14	Primario di Alseno	Pratovalente Alseno, Panatera, Casello C.
Destra valle	10 DX	913.18	Primario di Alseno	Villa Martina Ongina
Destra monte	CONDOT	591.27	Condotta Morignano	--
Destra monte	CONDPA	143.82	Condotta Palastrelli	--
Totale	**Destra**	**7,367.86**		

Tabella 1 – Distinta comizi distretto irriguo Arda.

4.4.7 Canalizzazione

Lo sviluppo complessivo della rete irrigua a servizio del distretto è pari a circa 354 km di canali classificati ai fini irrigui rispetto alle funzioni di adduzione (IR1), distribuzione principale (IR2), distribuzione secondaria (IR3).

La tabella seguente riporta l'ulteriore suddivisione in tipologie a fondo naturale propria della canalizzazione in terra e tombinata.

Classificazione	Fondo naturale (m)	Tombinato (m)	Totale (m)
IR1	17.699,58	3.405,59	21.105,17
IR2	41.664,21	98.049,89	139.714,09
IR3	99.751,87	94.200,40	193.952,27
Totale complessivo	159.115,65	195.655,88	354.771,54

Tabella 2 – Distinta tipologie di canalizzazione idrica distretto irriguo Arda.

4.4.8 L'uso reale del suolo

Il Consorzio dispone di un database geografico sviluppato in ambiente POSTGIS per l'archiviazione dei dati territoriali nel quale sono conservati:

- dati spaziali e a-spaziali delle opere di bonifica;
- dati spaziali e a-spaziali resi disponibili da soggetti terzi (Regione Emilia Romagna, Consorzio Canale Emiliano Romagnolo, Autorità di Bacino del Po, Provincia di Piacenza, Agenzia del territorio, MATM, …).

Alcune coperture dei dati spaziali sono state rese disponibili mediante il web gis consortile accessibile al pubblico: http://www.cbpiacenza.it:84/pmapper/CBPC_webgis.

Per quanto concerne l'uso reale del suolo del comprensorio irriguo Arda il Consorzio ha sviluppato le analisi territoriali mediante tecniche di overlaying gis nel seguente modo.

Sono state utilizzate le seguenti fonti (shapefiles):

- distretti irrigui, SIGRIAN;
- comizi arda, database geografico Consorzio di Bonifica di Piacenza, CBPC);
- carta dell'uso del suolo, database geografico Regione Emilia Romagna;
- carta dell'uso reale del suolo, database geografico Consorzio Canale Emiliano Romagnolo.
- Sono state effettuate le seguenti operazioni geografiche:

- gli attributi dei comizi irrigui (CBPC) sono stati associati geograficamente ai distretti (SIGRIAN);
- gli attributi delle particelle catastali (uso reale del suolo, CER) sono stati associati geograficamente ai comizi -distretti;
- mediante interrogazioni SQL sono state estratte le informazioni geografiche relative alle superfici complete di attributi sull'uso reale del suolo;
- il prodotto del lavoro svolto restituisce uno shapefile caratterizzato dall'unità minima di analisi (particella catastale) completa dei seguenti attributi:
- codici identificativi: particella catastale (Comune, foglio, mappale), comizio irriguo, distretto irriguo;
- dati geometrici: superficie particella catastale, superficie coltura praticata;
- dati fisici: qualità della coltura praticata, regime irriguo/non irriguo, fabbisogno irriguo (algoritmo IRRINET).

4.4.9 Attività di ricerca sull'uso reale del suolo: il telerilevamento satellitare nella gestione irrigua

Nel corso degli anni 2013-2014-2015, il Consorzio di Bonifica ha sviluppato un'attività di ricerca in collaborazione con il CRAST (Centro di ricerca analisi geo spaziale e telerilevamento) della Facoltà di Agraria di Piacenza dell'Università Cattolica del Sacro Cuore. L'obiettivo della ricerca è stato lo sviluppo, l'applicazione e la verifica nel distretto irriguo della val d'Arda di metodi di classificazione colturale a partire da acquisizioni multi-spettrali satellitari ad alta risoluzione spaziale. La gestione efficace della risorsa irrigua richiede la localizzazione delle diverse colture in atto ai fini della stima dei fabbisogni e del conseguente impatto delle decisioni riguardanti la gestione della risorsa irrigua sui sistemi produttivi agricoli ai quali è destinata. Ai fini dell'utilità di tale layer informativo nei sistemi informativi territoriali (SIT o GIS) per gli obiettivi gestionali della stagione in corso, occorre che esso sia reso disponibile prima del rapido aumento stagionale dei fabbisogni e possibilmente entro l'inizio di luglio.

La ricerca ha, pertanto, trattato i seguenti aspetti:

- la programmazione di acquisizioni satellitari multi-spettrali ad alta risoluzione e la produzione di una prima classificazione colturale "speditiva", prodotta cioè entro la metà di luglio 2014, sull'area di interesse, da utilizzare per obiettivi gestionali della stagione irrigua in corso;

- l'elaborazione di metodi di classificazione object-oriented di immagini satellitari funzionali alla classificazione colturale speditiva;
- le classificazioni colturali 2013 e 2014 e la valutazione dell'accuratezza raggiungibile in funzione delle acquisizioni multi-spettrali disponibili.

Per la stagione 2013 sono stati utilizzati dati dell'archivio CRAST per l'area di interesse consistenti in due acquisizioni multispettrali RapidEye (cinque bande spettrali, di cui tre nel visibile, una nel red-edge ed una nell'infrarosso vicino –NIR– a 5 metri di risoluzione spaziale);

Nel mese di giugno 2014 è stata programmata sull'area di interesse ai fini del progetto un'acquisizione RapidEye che è avvenuta con successo l'otto giugno con una scena completamente sgombra da nuvole . Alla data dell'acquisizione risultavano nell'area di interesse ancora una parte delle colture estive nelle primissime fasi vegetative (mais poco dopo l'emergenza e pomodoro da poco trapiantato) o ancora (raramente) suolo nudo prima dell'emergenza o del trapianto. Nel mese di luglio 2014 il CRAST ha programmato delle acquisizioni RapidEye che hanno reso disponibile ai fini della classificazione colturale, limitatamente alla parte occidentale del distretto irriguo, non coperta da nuvole nell'acquisizione, un'immagine multi-spettrale del 9 luglio. Al fine di ottenere i siti di training degli algoritmi di classificazione di tipo supervisionato sono verificate da personale CRAST le destinazioni colturali di oltre 300 appezzamenti delle quali oltre la metà sono state raccolte entro il mese di giugno. Questo numero di siti, molto elevato in rapporto alla superficie che deve essere classificata, è stato raccolto ai fini di ottenere la massima accuratezza di classificazione possibile e di avere a disposizione un elevato numero di appezzamenti a destinazione colturale nota, non utilizzati come siti di training dell'algoritmo di classificazione, da destinare alla determinazione dell'accuratezza delle diverse procedure di classificazione testate.

Per la raccolta dei test al suolo è stata utilizzata la piattaforma cloud di gestione delle mappe ArcGis on-line che consente la creazione rapida di mappe interattive, l'accesso ad applicazioni, mappe e modelli pronti all'uso, la condivisione e collaborazione con più utenti/redattori dotati di account e l'utilizzo di tablet dotati di GPS per la raccolta dei dati di campagna. Al fine di ottenere una classificazione colturale a più alto contenuto informativo per la stima temporale dei fabbisogni irrigui, per le due colture estive ad elevato fabbisogno più frequenti nella zona, mais e pomodoro da industria, sono state considerate più classi colturali in funzione della fase vegetativa alla metà di

giugno (tre classi colturali per il mais, orientativamente la prima fino alla quarta foglia, la seconda tra la quarta e l'ottava e la terza per le fasi successive e due per il pomodoro da industria, la prima della orientativamente fino alla fioritura del primo palco e la seconda per le fasi successive. Si riporta di seguito una tavola di classificazione delle colture e una tabella di sintesi numerica delle percentuali di distribuzione comiziale delle colture, prodotta il 1 luglio 2014.

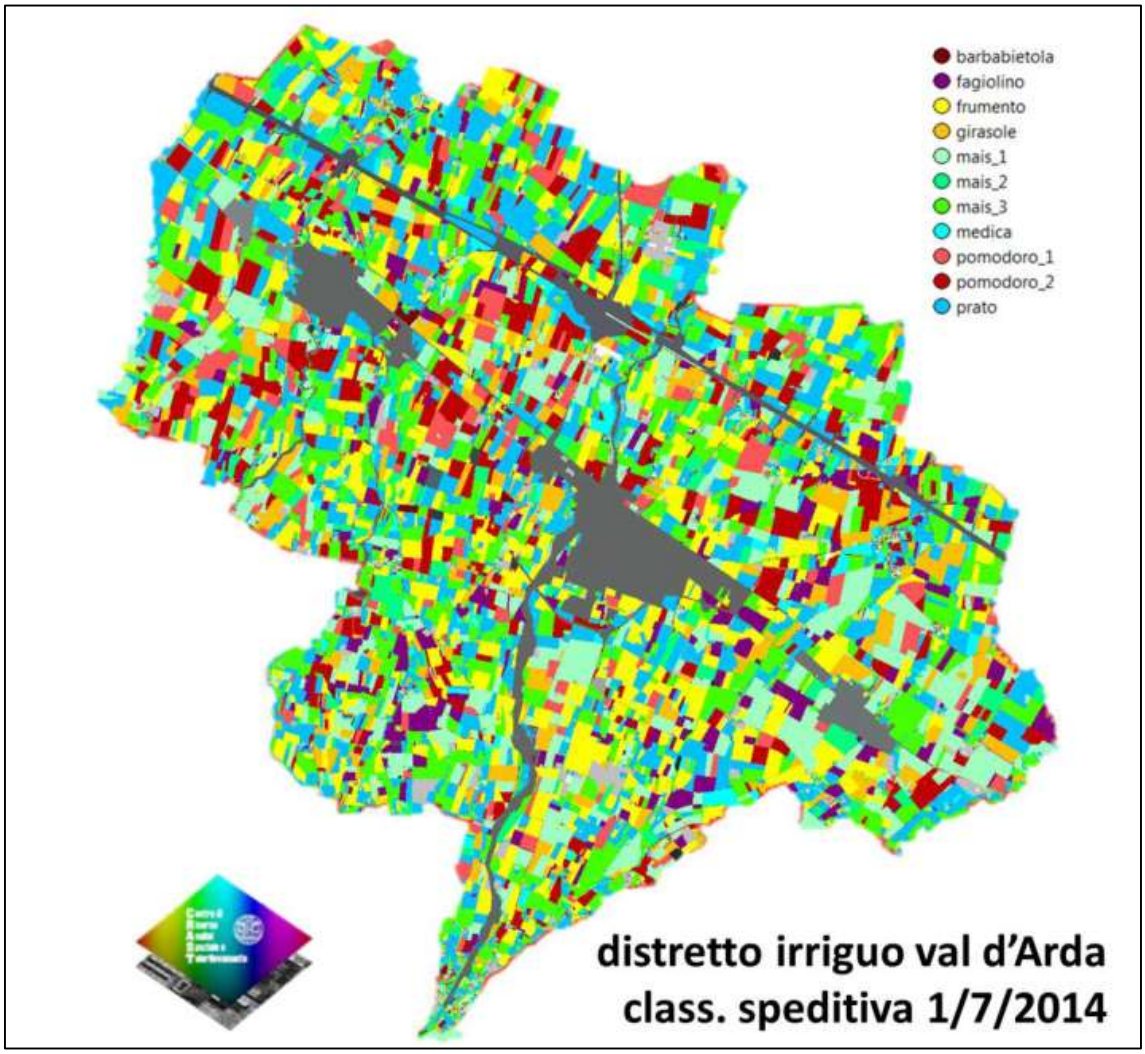


Figura 3 – Classificazione colturale distretto irriguo Arda del 01.07.2014.

Tab. x - Classificazione speditiva al 1 luglio: area colturale percentuale per comizio

	mais 1	*mais 2*	*mais 3*	*pom. 1*	*pom. 2*	*frum.*	*giras.*	*prato*	*medica*	*fagiol.*	*bietola*	*n.c.*
0DX	0.8%	10.3%	0.9%	1.5%	0.8%	29.2%	0.0%	7.6%	2.3%	2.9%	0.0%	43.6%
0SX	4.5%	4.8%	2.5%	11.8%	2.3%	13.8%	8.7%	14.9%	6.5%	4.4%	0.3%	25.6%
1DX	7.3%	0.3%	7.6%	6.6%	0.0%	41.6%	1.4%	11.0%	4.7%	4.2%	0.0%	15.2%
1SX	12.0%	7.0%	12.1%	5.4%	2.4%	14.8%	3.0%	10.7%	6.5%	9.1%	0.2%	16.8%
2DX	24.9%	6.0%	16.9%	5.6%	4.0%	13.2%	1.0%	4.5%	4.6%	5.9%	0.4%	13.0%
2SX	6.9%	20.1%	14.0%	6.4%	2.6%	16.3%	1.4%	8.0%	6.4%	5.0%	0.0%	12.9%
3DX	13.4%	18.1%	13.5%	2.2%	8.2%	9.2%	1.9%	7.4%	5.0%	1.4%	0.0%	19.7%
3SX	6.8%	9.7%	6.9%	9.9%	2.4%	17.4%	1.6%	7.4%	8.3%	4.1%	1.1%	24.3%
4DX	14.3%	6.6%	8.5%	3.3%	4.2%	23.9%	5.6%	7.1%	3.8%	4.5%	0.9%	17.1%
4SX	12.2%	10.5%	9.0%	11.7%	5.1%	17.7%	0.8%	3.6%	3.5%	0.2%	1.0%	24.8%
5DX	21.6%	12.2%	9.6%	8.1%	1.5%	11.2%	5.5%	5.9%	4.0%	2.9%	0.1%	17.4%
5SX	17.2%	9.2%	14.1%	3.3%	5.4%	13.7%	3.3%	10.7%	3.6%	2.2%	0.4%	16.9%
6DX	11.3%	15.3%	4.6%	6.1%	2.2%	19.6%	3.3%	8.1%	4.0%	11.7%	2.6%	11.3%
6SX	14.9%	11.1%	14.6%	10.1%	8.5%	9.9%	1.8%	11.5%	4.0%	0.7%	0.0%	12.8%
7DX	14.1%	6.6%	8.2%	4.3%	7.2%	12.0%	7.5%	6.7%	4.0%	4.4%	0.4%	24.5%
7SX	7.4%	8.9%	18.9%	5.3%	6.7%	10.3%	1.5%	6.4%	15.1%	1.2%	0.3%	17.9%
8DX	11.6%	10.5%	17.8%	2.3%	4.6%	16.0%	2.4%	9.2%	7.7%	3.6%	0.3%	14.0%
8SX	13.2%	16.9%	6.9%	14.7%	9.4%	12.0%	1.7%	2.4%	6.6%	5.3%	0.6%	10.4%
9DX	15.2%	10.8%	9.8%	5.1%	4.6%	15.1%	3.7%	9.4%	4.7%	3.0%	4.0%	14.6%
9SX	3.2%	14.3%	12.9%	3.7%	9.0%	12.6%	1.1%	4.4%	12.6%	3.2%	3.4%	19.5%
10DX	23.6%	15.4%	11.9%	4.7%	6.3%	5.1%	1.0%	8.7%	3.1%	5.8%	0.0%	14.5%
10SX	5.6%	13.3%	19.0%	5.4%	5.7%	19.0%	1.6%	6.8%	4.9%	5.5%	0.7%	12.5%
CONDOT	19.7%	6.5%	7.3%	4.3%	2.3%	10.1%	0.7%	6.1%	3.7%	2.6%	0.0%	36.9%

5 LOCALIZZAZIONE DELL'OPERA E DATI GENERALI DEL PROGETTO

Il progetto riguarda la realizzazione di un bacino di accumulo ad uso irriguo rientrante nell'ambito del *Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), Missione 2 - Componente 4 - Investimento 4.1 – Investimenti in infrastrutture idriche primarie per la sicurezza dell'approvvigionamento idrico*, in riferimento al quale il Consorzio di bonifica di Piacenza ha ottenuto il finanziamento con Decreto MIT n. 517 del 16.12.2021.

La progettazione dell'opera si è basata, in particolare, sui seguenti criteri generali:

- scelta del sito;
- scelte costruttive;
- miglioramento dell'efficienza della risorsa.

5.1 Individuazione del sito

Il sito ritenuto idoneo alla realizzazione delle opere in progetto è stato individuato in funzione dei seguenti parametri e fattori:

- disponibilità di un adeguato bacino imbrifero di carico, in grado di riempire il bacino di accumulo con le acque di precipitazione durante la stagione invernale;
- natura orografica del terreno che permette il carico e lo scarico del lago a gravità senza sollevamento meccanico;
- prossimità dell'invaso al bacino irriguo da servire, in modo tale da consegnare le acque invasate alla testa distretto.

5.2 Localizzazione dell'opera

L'invaso in progetto sarà realizzato in località Molinazzo in Comune di Alseno (PC):

- coordinate nel sistema di riferimento adottato dalla regione Emilia-Romagna:
  ETRS89 / UTM zone 32N (EPSG 25832): X = 572305,89 - Y = 4970285,70;
- riferimenti catastali: mappali n. 32-33-42-70-71-87 del foglio n. 28 del Comune di Alseno.

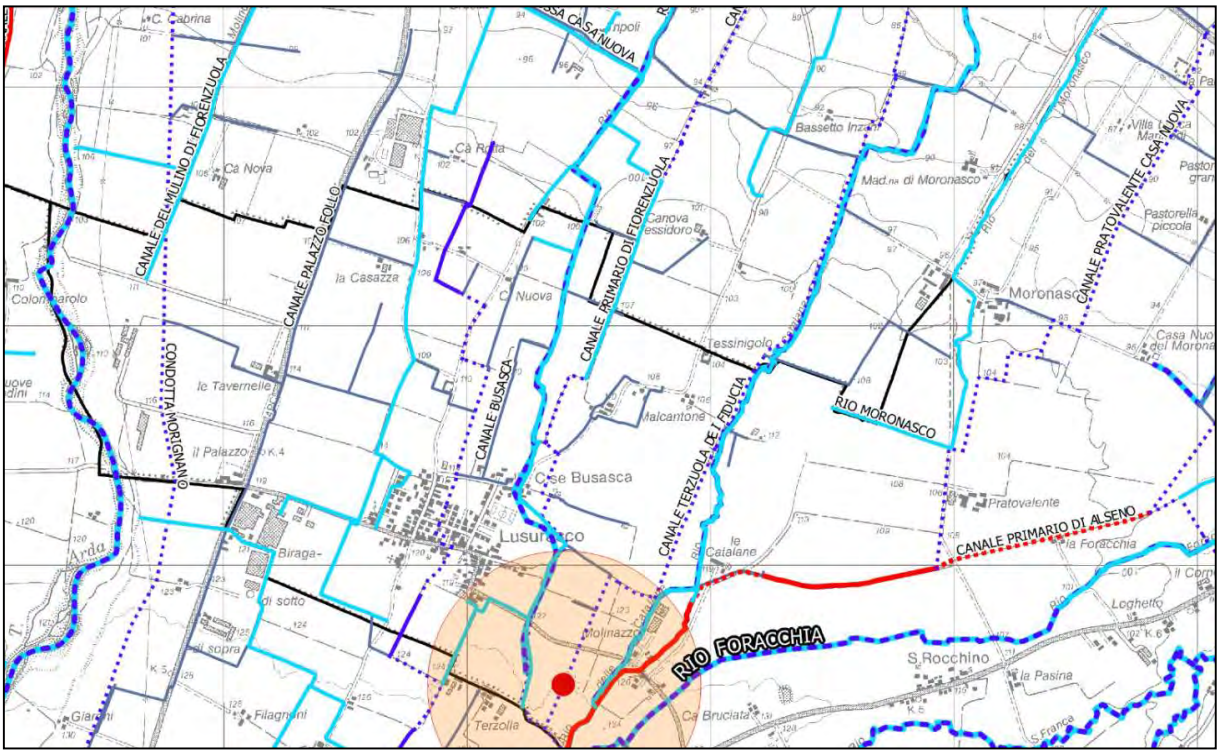


Figura 4 – Localizzazione dell'invaso in progetto.

5.3 Scelte costruttive

La progettazione dell'invaso ha tenuto conto dei seguenti elementi progettuali:

- l'ubicazione e la planimetria dell'invaso sono state ricavate in seguito ad un'analisi tecnico economica che ha tenuto in considerazione sia l'aspetto tecnico che quello funzionale legato alla distribuzione dei volumi irrigui alle aree sottese all'invaso;
- realizzazione di un invaso in parte in scavo e in parte in rilevato, al fine di impiegare parte del materiale scavato nella costruzione del rilevato arginale, riducendo il più possibile l'eccedenza di materiale da dover smaltire o trasportare a discarica;
- realizzazione di argini perimetrali di contenimento idrico, al fine di incrementare il volume immagazzinabile rispetto alla realizzazione di un invaso solo con scavo;
- la quota di massimo invaso è stata assunta considerando un franco di sicurezza tra il livello idrico di regolazione e la quota massima del rilevato di 1 m;
- la quota di minimo invaso è stata posta a circa 20 cm rispetto al fondo del lago per favorire la sedimentazione delle particelle di terra, evitando l'interrimento dello scarico di fondo;
- l'area individuata è esterna alle aree SIC/ZPS e al di fuori di tutti i vincoli di carattere ambientale, idrogeologico e archeologico;

- standardizzazione dei tipi di manufatti idraulici per agevolare le attività gestionali e manutentive.

5.4 Miglioramento efficienza risorsa idrica

Il miglioramento dell'efficienza della risorsa idrica è stato conseguito con i seguenti obiettivi:

1. la posizione strategica dell'opera progettata consente di alimentare e scaricare il bacino di accumulo a gravità, evitando la realizzazione di impianti di sollevamento che comporterebbero elevati costi di costruzione e di gestione;
2. le precipitazioni che si abbattono sul bacino di carico dell'opera permettono di invasarla completamente e quindi di ridurre il volume idrico prelevato dalla fonte irrigua a servizio del comprensorio (corpo idrico superficiale), ottenendo un risparmio di risorsa pari al volume dell'invaso in progetto;
3. il mancato prelievo di parte del volume idrico dalla fonte produce un ulteriore risparmio idrico, dato dall'eliminazione delle perdite idrologiche per infiltrazione nei canali in terra che costituiscono il percorso idraulico dalla fonte idrica all'invaso. Infatti l'attuale schema irriguo prevede il prelievo della risorsa idrica dalla fonte e il trasporto della stessa fino al comprensorio irriguo sotteso attraverso la rete di distribuzione consortile che, essendo costituita da canali in terra, è caratterizzata da forti perdite per infiltrazione nel terreno. Una volta realizzato l'invaso in progetto, parte del prelievo sarà integrato dall'acqua di precipitazione, eliminando le perdite idrologiche associate al mancato prelievo da corpo idrico superficiale;
4. l'impermeabilizzazione della superficie interna dell'invaso consente di stoccare tutta la risorsa senza perdite per infiltrazione nel terreno;
5. i manufatti di carico e scarico sono dotati di contatori per la misurazione in continuo delle portata in ingresso e in uscita al sistema, come riportato nel bando di selezione, rispettando quanto richiesto dall'art. 46 comma 3 del Regolamento (UE) n. 1305/2013.

5.5 Schema funzionale di progetto

Si riporta nel seguito lo schema di funzionamento idraulico dell'invaso:

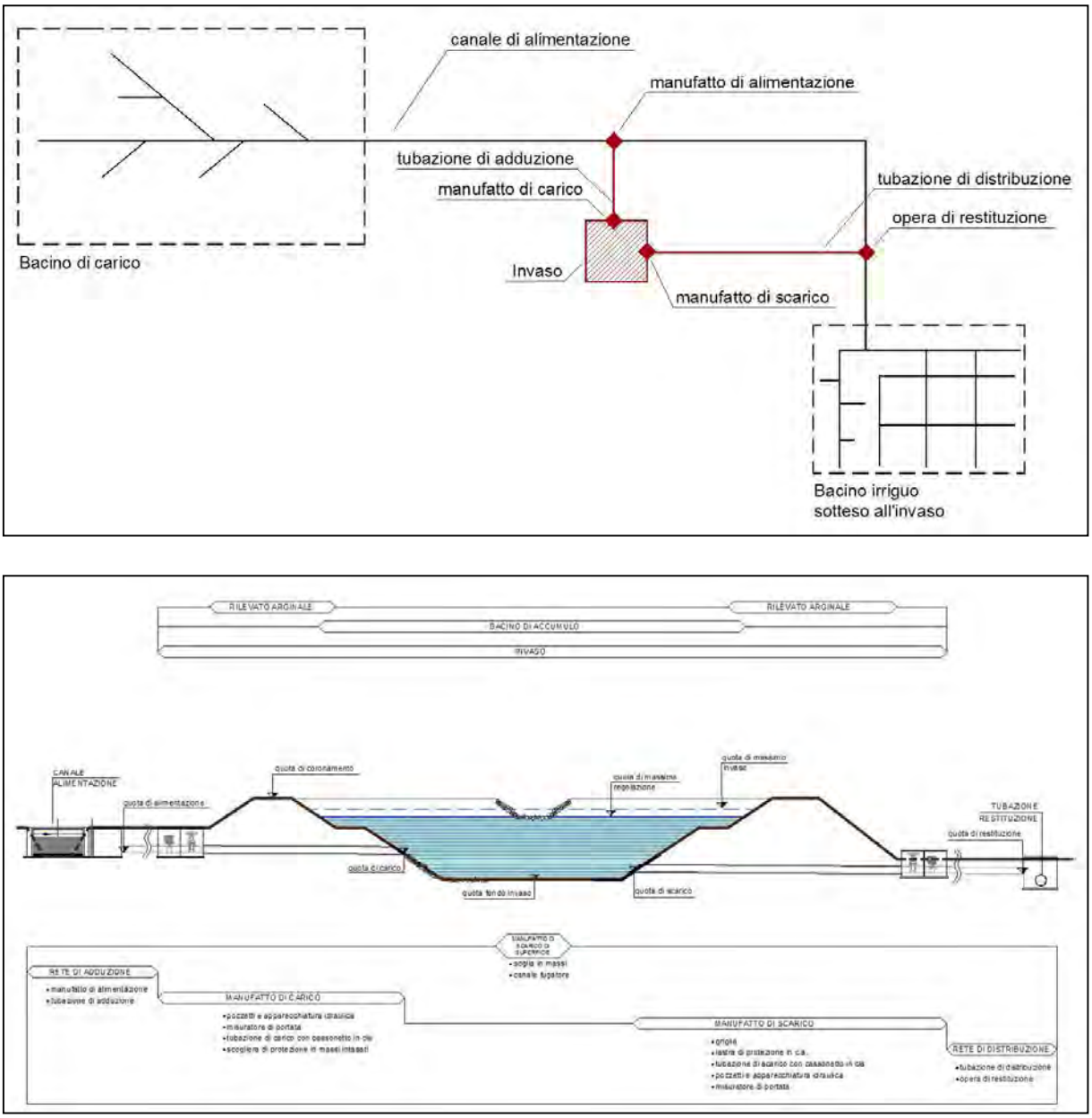


Figure 5 e 6 – schema funzionale di progetto – pianta e profilo idraulico.

Nello schema idraulico sono riportate le quote che descrivono compiutamente il funzionamento dell'invaso, nel seguito definite:

- quota di alimentazione, rappresenta la quota della tubazione (fondo tubo) che consente di invasare il serbatoio in progetto, nel punto di presa dal canale di alimentazione;
- quota di carico, rappresenta la quota della tubazione (fondo tubo) che consente di invasare il serbatoio in progetto, nel punto di immissione nel serbatoio;
- quota di massima regolazione, rappresenta la quota del livello dell'acqua oltre la quale ha

inizio automaticamente lo sfioro;

- quota di massimo invaso, quota a cui può giungere il livello dell'acqua dell'invaso nel caso si verifichi il più gravoso evento di piena previsto in progetto;
- quota di coronamento, piano orizzontale che costituisce la massima quota dei rilevati arginali;
- quota di fondo invaso, rappresenta il piano di fondo scavo del bacino di accumulo;
- quota di scarico, rappresenta la quota a cui viene posata la tubazione di scarico dell'invaso in uscita dal bacino (fondo tubo);
- quota di restituzione, rappresenta la quota della tubazione che si ricollega con la rete consortile esistente, che rappresenta la distribuzione alle aziende.

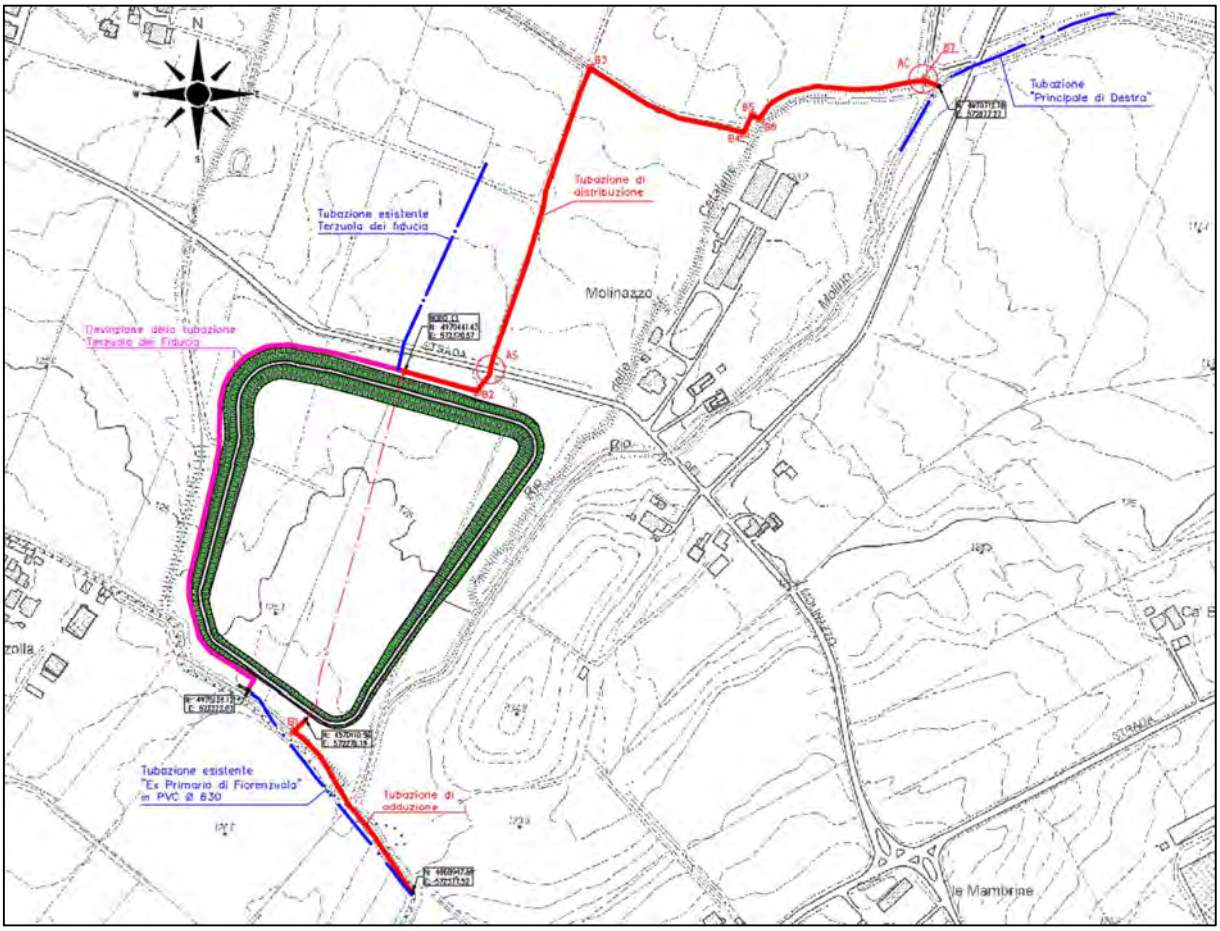


Figura 7 – Planimetria funzionale opere in progetto.

Si riportano di seguito i principali parametri geometrici di progetto dell'opera:

Indicatore	u.m.	
Comune		Alseno
Superficie del bacino di carico	ha	176
Superficie irrigua asservita	ha	1.114
Volume utile d'invaso (circa)	m^3	203.000
Superficie invaso (circa)	m^2	78.000
Quota di alimentazione fondo canale	m	128,00
Quota di carico fondo tubo in ingresso	m	126,20
Quota di massima regolazione	m	127,50
Quota di massimo invaso	m	127,65
Quota di coronamento	m	128,50
Quota di fondo invaso minima (circa)	m	122,50
Quota di scarico fondo tubo in uscita (circa)	m	122,70
Quota di restituzione circa	m	116,62
Manufatto di derivazione	n	1
Manufatto di carico	n	1
Manufatto di sfioro	n	1
Manufatto di scarico	n	1
Manufatto di derivazione	n	1
Rete di adduzione (circa)	m	200,00
Rete di distribuzione (circa)	m	750,00

Tabella 3 – Principali parametri geometrici dell'invaso in progetto.

5.6 Bacino idraulico di carico

Coerentemente con quanto espresso dal fabbisogno F.18 dell'operazione 4.3.02 del bando "aumentare l'efficienza delle risorse idriche", l'invaso in progetto favorisce l'accumulo della risorsa idrica nei periodi in cui la stessa è maggiormente disponibile ovvero nel periodo invernale, dal mese di ottobre al mese di aprile, ed essere impiegato come riserva idrica nei mesi irrigui (maggio-settembre). Le precipitazioni meteoriche che si abbattono sul bacino imbrifero sotteso dall'invaso vengono raccolte tramite la rete di colatori presenti sul territorio e trasformate in deflussi superficiali. Il calcolo del volume utile d'invaso è correlato alla capacità del bacino imbrifero di riempire il serbatoio in progetto.

Per il calcolo degli apporti idrici si sono considerati i dati pluviometrici registrati nella stazione pluviometrica più vicina all'invaso in progetto. I dati climatici della stazione di riferimento sono stati reperiti tramite il Sistema Dext3r del Servizio Idrometeorologico dell'ARPA-SIM, assumendo come riferimento per il calcolo i valori registrati negli ultimi 10 anni, dal 2006 al 2015 (durante il 2016 non è stato possibile reperire tali dati).

Per la stima dei deflussi è stato applicato un modello di trasformazione afflussi-deflussi ipotizzando che il deflusso medio sia pari alla precipitazione netta sul bacino imbrifero, ottenuta depurando le precipitazioni dalle perdite per infiltrazione nel terreno.

Il coefficiente medio di afflusso del bacino imbrifero è stato stimato sulla base delle informazioni a disposizione sulla tessitura dei terreni compresi nel bacino stesso, ricavate tramite la "Carta d'uso del suolo" della provincia di Piacenza, e sulla presenza di infrastrutture e centri abitati.

L'analisi idrologica effettuata conferma che l'apporto meteorico del bacino imbrifero sotteso dall'invaso in progetto è sufficiente ad invasarlo completamente grazie al contributo delle sole precipitazioni invernali, consentendo di accumulare la risorsa quando risulta maggiormente disponibile ed utilizzarla nel periodo irriguo quando è meno abbondante.

Il bacino in progetto avrà, quindi, la funzione di stoccare la risorsa idrica durante il periodo invernale per utilizzarla durante i mesi primaverili ed estivi, quando, si svolge l'attività di irrigazione, generalmente soggetti a possibile carenza e deficit della risorsa stessa.

5.7 Bacino irriguo sotteso all'invaso

L'invaso consentirà di migliorare il soddisfacimento idrico delle colture presenti nell'areale irriguo che lo stesso sottende, pur senza il raggiungimento della piena irrigazione. Tale comprensorio irriguo è stato tracciato su supporto cartografico digitale, includendo i terreni che potranno essere serviti dal bacino di accumulo in progetto. L'areale individuato è stato compiutamente descritto, come riportato nell'Allegato 4 del bando di selezione, indicando le seguenti informazioni:

- tipologie di colture presenti e relative superfici in termini di S.A.U.;
- fabbisogno delle colture;
- stima dei volumi irrigui stagionali normalmente applicati;
- metodo irriguo impiegato.

Il Canale Emiliano Romagnolo (CER), dal 2007 in forza di una convenzione con la Regione Emilia Romagna rende disponibili ai diversi Consorzi di Bonifica la "cartografia digitalizzata sull'uso reale del suolo" realizzata in ambiente geodatabase standard ESRI. La cartografia di base utilizzata da CER per la produzione della carta è quella catastale vettoriale. L'unità di base delle analisi e delle restituzioni dell'uso reale del suolo è costituita dalla particella catastale. La procedura implementata da CER è finalizzata ad aggregare un insieme coerente di dati spaziali e aspaziali selezionati per descrivere l'uso del suolo agricolo e la distribuzione reale delle colture. Ad ogni particella catastale sono associati gli attributi relativi al gruppo colturale di appartenenza integrando gli elementi conoscitivi desunti dal telerilevamento satellitare della Regione Emilia Romagna iColt e le basi dati delle dichiarazioni AGREA. La Carta dell'uso reale del suolo, date le procedure di elaborazione, è resa disponibile generalmente nel mese di settembre dell'anno in corso.

Le informazioni sulle tipologie di colture presenti nell'areale irriguo, pertanto, sono state desunte tramite estrazione dalla banca dati della Carta dell'uso reale del suolo (media del quinquennio 2012-2016). Le superfici riferite alle colture sono state espresse in termini di S.A.U. tramite le informazioni cartografiche a disposizione del consorzio di bonifica.

Il calcolo delle necessità irrigue complessive del comprensorio irriguo è stato ottenuto moltiplicando le superfici delle colture irrigue attualmente utilizzate per i relativi volumi mensili irrigui standardizzati (fabbisogni). Sono state, inoltre, descritte le fonti irrigue a servizio dell'areale in oggetto, indicandone denominazione, tipologia, concessione di derivazione e condizione relativa

allo stato quantitativo (Piano di gestione del bacino idrografico fiume Po). I volumi stagionali normalmente applicati sono pari ai volumi idrici che attualmente il consorzio consegna alle utenze comprese nell'areale analizzato, stimati grazie al sistema di telecontrollo di cui sono dotate le prese irrigue a servizio del comprensorio stesso.

All'interno del bacino irriguo sotteso all'invaso, il metodo irriguo prevalente è quello del goccia a goccia, adottato dalla maggioranza delle aziende agricole presenti sul territorio (oltre 90% per pomodoro e oltre 75% per mais).

Classe di idroesigenza	Coltura	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Totale
CLASSE I (1000 m^3/ha)	Mandorlo	350					350
	Cereali autunno vernini	350					350
	Loto			300	300	300	900
	Sorgo		450	450			900
	Girasole		450	450			900
	Colture da seme	350	650				1000
CLASSE II (2000 m^3/ha)	Olivo		350	450	350		1150
	Vite			800	450		1250
	Bietola	750	500	300			1550
	Soia		350	1300			1650
	Albicocco	300	900	350	350		1900
	Ciliegio	300	900	350	350		1900
	Patata	700	1000	300			2000
CLASSE III (3000 m^3/ha)	Fragola	450	550		1100	350	2450
	Prati di foraggere	150	650	850	650	250	2550
	Altre ortive	550	550	550	550	550	2750
	Altre colture	550	550	550	550	550	2750
	Cipolla	800	1050	900			2750
	Melone		900	1500	350		2750
	Susino	300	900	1250	350		2800
	Pomodoro da I.	500	550	1300	450		2800
	Pesco e Net.	300	900	1250	350		2800
	Ciclo Fagiolino	300	800	550	800	500	2950
CLASSE IV (4500 m^3/ha)	Cocomero	850	1100	1150			3100
	Mais	450	1000	1250	500		3200
	Pero e Melo	300	1000	1400	1000	150	3850
	Actinidia	150	950	1400	1200	650	4350

Tabella bando PSR-regionale: volumi irrigui standardizzati (m^3/ha)

6 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

Gli elementi progettuali che costituiscono l'opera in progetto possono essere, pertanto, raggruppati nelle seguenti macro-categorie:

- rete di adduzione;
- invaso;
- rete di distribuzione;
- opere accessorie e a verde.

Preliminarmente all'esecuzione delle opere in progetto è prevista una serie di **opere generali** comprendenti le attività di preparazione propedeutiche allo svolgimento dei lavori come l'allestimento del cantiere, i rilievi e i tracciamenti.

Si riporta nel seguito la planimetria di progetto esecutivo dell'invaso e delle relative opere di adduzione e distribuzione:

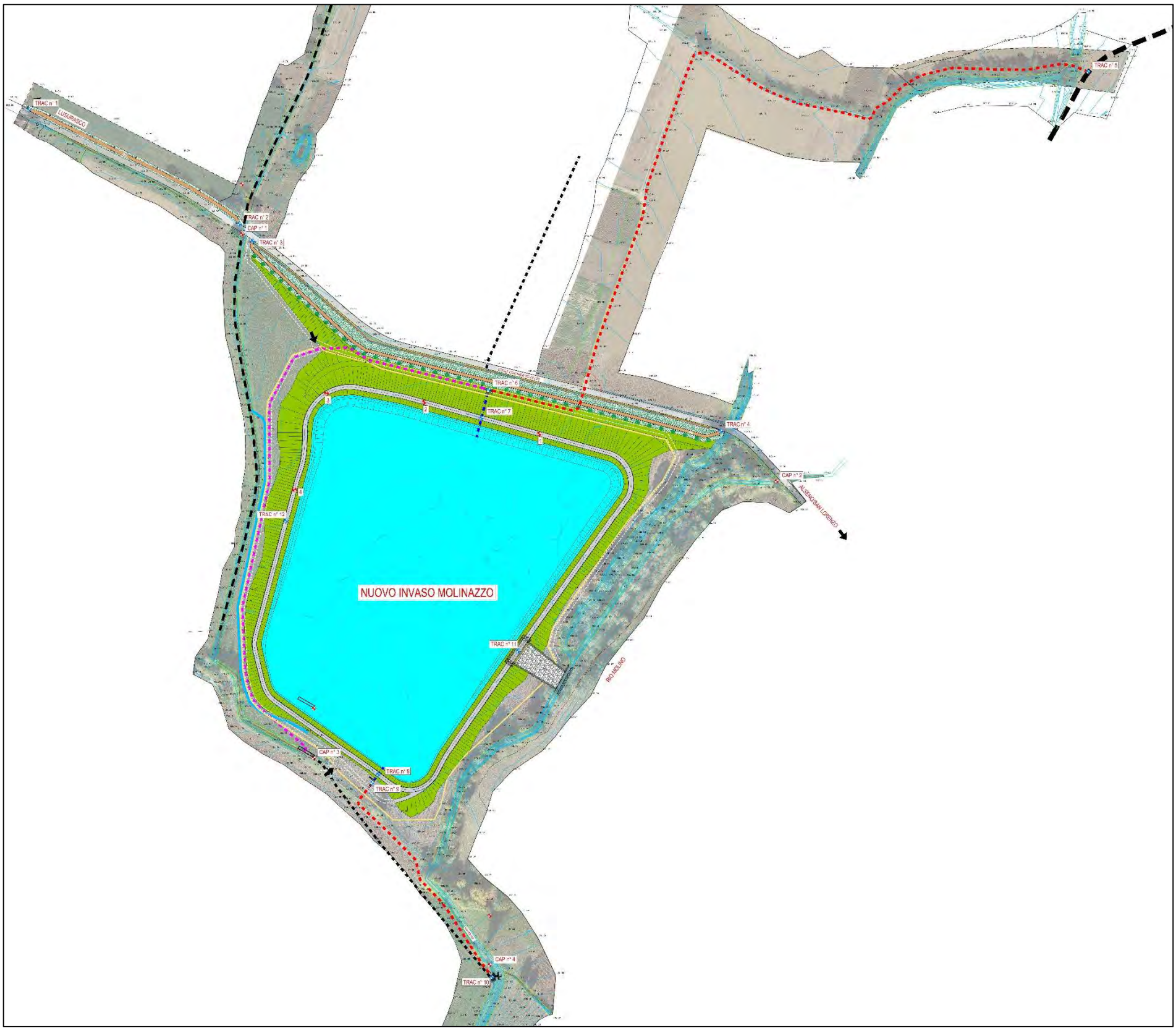


Figura 8 – planimetria generale invaso ed opere idrauliche complementari in progetto.

6.1 Rete di adduzione

La **rete di adduzione** consente di derivare le acque e convogliarle verso l'invaso in progetto ed è costituita dai seguenti elementi:

- canale di alimentazione esistente, è il canale consortile che raccoglie le acque di precipitazione sul bacino imbrifero sotteso dall'invaso;
- manufatto di alimentazione, è l'opera di presa che consente di alimentare l'invaso in progetto;
- tubazione di adduzione, con la funzione di convogliare le acque derivate dal manufatto di presa all'invaso, riducendo le perdite per infiltrazione nel terreno.

6.1.1 Manufatto di alimentazione

Il manufatto di alimentazione è costituito da un edificio in conglomerato cementizio armato gettato in opera, dotato di un sistema di 2 paratoie motorizzate per la regolazione della portata di derivazione e l'eventuale chiusura dell'adduzione in caso d'emergenza. La tubazione di adduzione all'invaso diparte da un pozzetto ispezionabile dotato di griglia metallica di protezione pedonabile.

In prossimità del manufatto sarà installato un armadio con relativo quadro per l'alimentazione elettrica delle paratoie e la predisposizione per l'alimentazione dei futuri sistemi di misurazione dei livelli idrici, sarà inoltre predisposto, parallelamente al cavidotto elettrico, un cavidotto per l'istallazione di un sistema di trasmissione dei segnali di livello/portata, sistema non previsto in progetto ma di prossima realizzazione a cura della Stazione Appaltante.

Si riportano nel seguito la pianta e il prospetto sviluppato estratti dagli elaborati grafici di progetto esecutivo.

Al *capitolo 10* sono, invece, riportati i calcoli di dimensionamento e verifica strutturale del manufatto realizzato in opera.

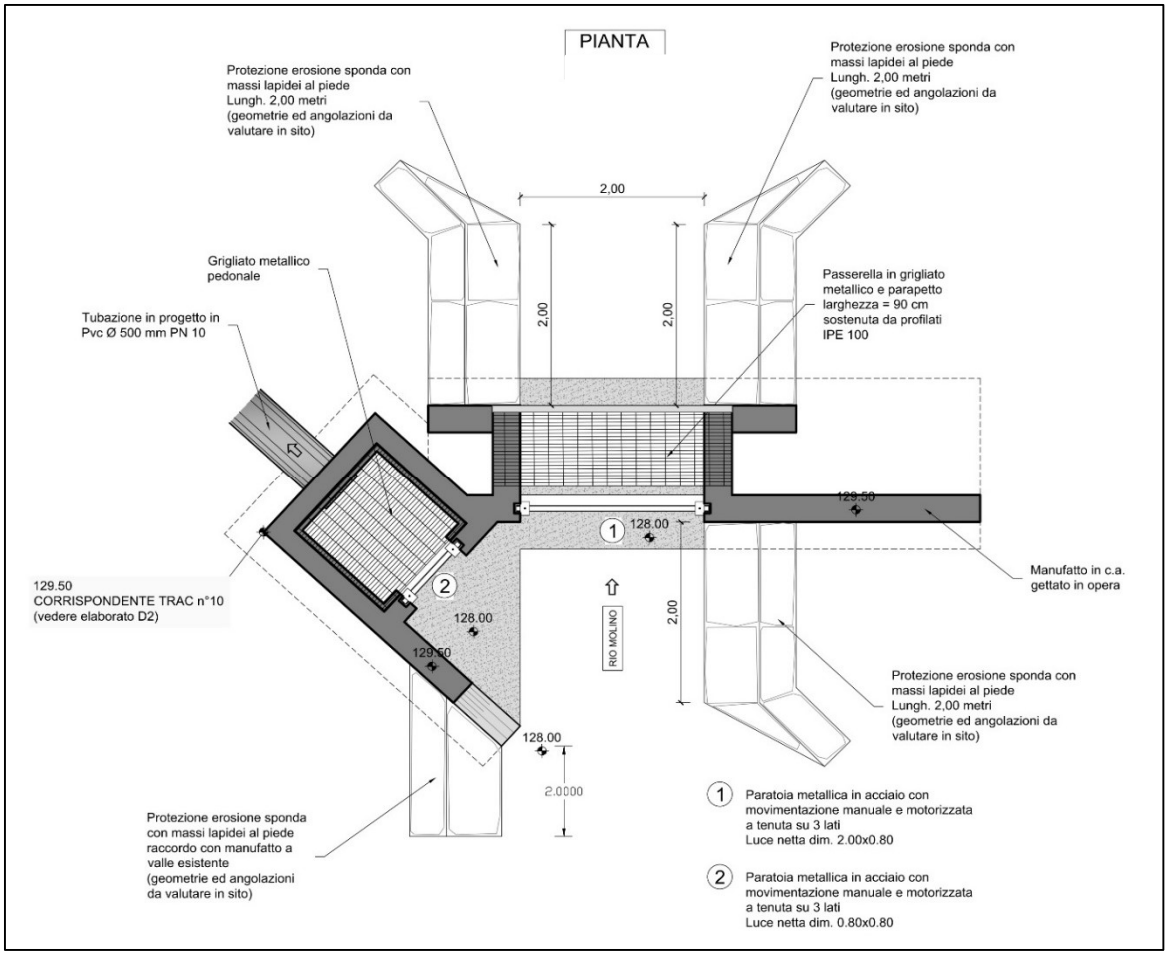


Figura 9 – Manufatto di alimentazione / di derivazione – pianta.

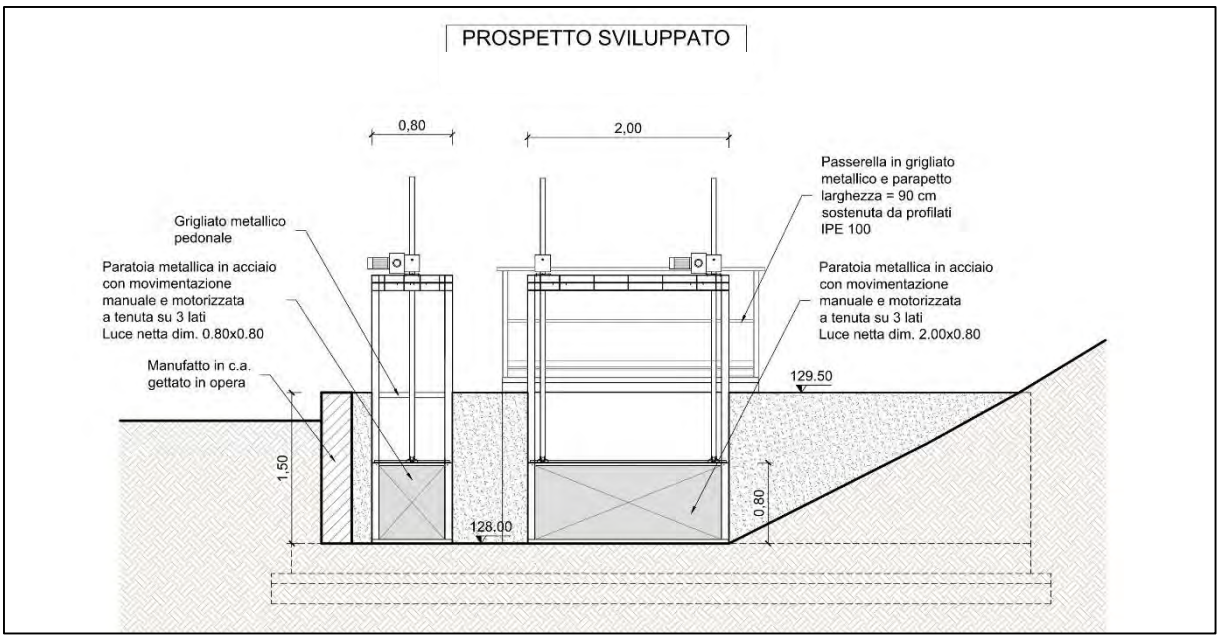


Figura 10 – Manufatto di alimentazione / di derivazione – prospetto sviluppato.

6.1.2 Tubazione di adduzione

All'interno della relazione idraulica di progetto sono riportati i calcoli e i risultati relativi al dimensionamento delle caratteristiche della tubazione di adduzione, ovvero la scelta del materiale, del diametro, dello spessore e della pendenza.

La tubazione di adduzione in derivazione dal manufatto di alimentazione verrà realizzata in PVC e avrà diametro esterno pari a 500 mm e spessore di 19,1 mm, con classe di pressione PN10. La lunghezza complessiva della tubazione sarà di circa 200 m. La tubazione permette di ridurre le perdite per infiltrazione nel terreno dovute al trasporto della risorsa.

Il tratto di tubazione in corrispondenza del manufatto di carico dell'invaso e dei relativi pozzetti di regolazione e gestione delle portate, è stato previsto, in fase esecutiva, in acciaio DN 500 mm, al fine di garantire una migliore tenuta idraulica ed un maggiormente idoneo accoppiamento con i dispositivi di regolazione e misurazione idraulica progettualmente previsti.

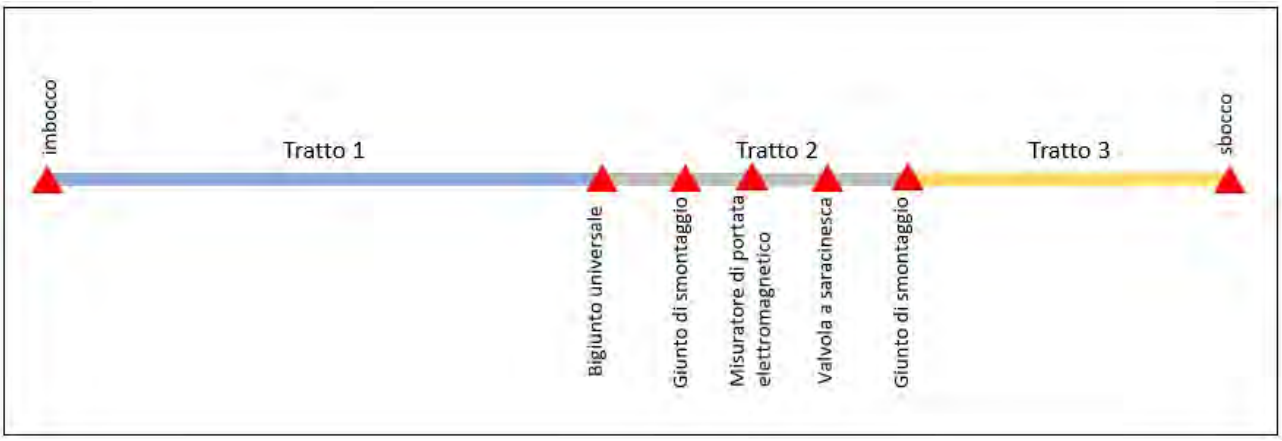
Il tratto di tubazione in attraversamento del rilevato arginale è, infine, stato previsto in PEAD De 500 mm, con spessore di 29,7 mm e con classe di pressione PN10 (SDR 17) con giungi saldati testa a testa al fine di garantire una perfetta tenuta idraulica nonché un'idonea saldatura del tubo al pezzo speciale in PEAD di scarico a lago, il tutto per una perfetta tenuta idraulica del sistema di immissione con le membrane impermeabili interne all'invaso.

La tubazione in PEAD verrà alloggiata in una trincea scavata nel terreno naturale. Attorno ad essa verrà realizzato un cordolo armato in c.c.a. dotato di collari anti-sifonamento anch'essi realizzati in c.c.a. che consentirà di aumentare la resistenza alle sollecitazioni meccaniche e di ridurre gli eventuali fenomeni di filtrazione. Attorno alla trave il terreno di rinfianco verrà adeguatamente costipato con la massima cura.

6.1.2.1 Verifica idraulica della tubazione di adduzione

In relazione alla differenza di diametro interno tra la tubazione in PVC prevista in fase di progetto definitivo, nell'ambito della presente progettazione esecutiva sono stati effettuati i pertinenti aggiornamenti delle verifiche idrauliche della tubazione, le quali vengono nel seguito riportate.

Il tratto di condotta di adduzione, come desumibile dagli elaborati grafici di progetto, è stato schematizzato idraulicamente come rappresentato nella seguente figura:



In tabella sono indicate le caratteristiche fisiche e geometriche delle condotte previste in progetto:

Tratto	Materiale tubazione	DN [mm]	Spessore [mm]	D_i [mm]	Lunghezza [m]	Pendenza media
1	PVC-U rigido	500	19.1	461.8	200	0.0038
2	Acciaio	500	5.6	496.8	8	0.0038
3	PEAD	500	29.7	440.6	13.5	0.0038

Per il dimensionamento e la verifica della tubazione si è fatto riferimento al modello in moto permanente di un fluido incomprimibile entro condotte cilindriche in pressione. La perdita di carico totale per unità di lunghezza della condotta è pari alla corrispondente perdita di carico piezometrico (pendenza motrice). Essa è correlata alle grandezza caratteristiche del moto, della condotta e del fluido dall'equazione:

$$h_1 - h_2 = \beta_r \frac{Q^2}{D^5} L + \sum_i P_{conc,i}^{\square}$$

dove:

- $h_1 - h_2$ è la differenza di carico piezometrico
- $\beta_r = \frac{10.3}{K_S D^{1/3}}$ è il coefficiente di resistenza dimensionale secondo Gauckler-Strickler avendo indicato con K_S il coefficiente di scabrezza
- Q è la portata
- D è il diametro della condotta

- L è la lunghezza della condotta
- $\sum_i P_{conc,i}$ rapresenta le sommatoria delle perdite di carico concentratedei singoli dispositivi di regolazione/misura o accoppiamento

La formula indicata può essere specializzata al caso in esame esplicitando il calcolo della portata in funzione della differenza di carico tra il manufatto di derivazione ed il livello presente nell'invaso atteso che la regolazione delle portate derivate avverrà al manufatto di derivazione mediante l'azionamento dell'apposita paratoia.

Le differenze di carico teoriche, a prescindere quindi dalle effettive manovre di regolazione della derivazione, sono volte a definire il carico massimo ed il carico minimo disponibili e la conseguente verifica di adeguatezza idraulica della condotta. Nell'ipotesi di invaso pieno a quota 127.50 m s.l.m.m. il carico minimo disponibile all'opera di presa sarà di circa 0.3 m mente il carico massimo sarà di circa 1.8 m. Ad invaso vuoto il carico massimo disponibile sarà di circa 3.48 m.

La formula che esprime le perdite dovute al moto uniforme nella condotta di adduzione risulta essere la seguente:

$$Q = \sqrt{\frac{h_1 - h_2}{\sum_{j=1}^{3}\left(\frac{10.3}{K_{S,j}^2\, D_j^{1/3}}\,\frac{L_j}{D_j^5}\right) + \frac{8}{\pi^2\, g}\,\sum_{i=1}^{6}\left(\frac{\zeta_j}{D_j^4}\right)}}$$

Il calcolo delle perdite di carico distribuite rappresentate dal termine $\sum_{j=1}^{3}\left(\frac{10.3}{K_{S,j}^2\, D_j^{1/3}}\,\frac{L_j}{D_j^5}\right)$ è riportato schematicamente nella seguente tabella:

Tratto	Materiale tubazione	D_i [mm]	Lunghezza [m]	K_S [$m^{1/3}\,s^{-1}$]	Perdite distribuite [m]
1	PVC-U rigido	461.8	200	120	8.8122
2	Acciaio	496.8	8	100	0.3438
3	PEAD	440.6	13.5	120	0.7643
Sommatoria delle perdite distribuite					***9.9202***

Il calcolo delle perdite concentrate:

$$\frac{8}{\pi^2\, g} \sum_{i=1}^{6} \left(\frac{\zeta_j}{D_j^4} \right)$$

valutate rispettivamente in corrispondenza dell'imbocco; dei dispositivi di regolazione, misura o accoppiamento presenti in corrispondenza del manufatto di carico; nonché dello sbocco della condotta di adduzione è sintetizzato nella seguente tabella:

Descrizione	ζ	D_j **[m]**	$\frac{\zeta_j}{D_j^4}$ **[m^{-4}]**
imbocco	1.00	0.4618	21.9879
bigiunto universale	0.05	0.4618	1.0994
giunto di smontaggio	0.05	0.4968	0.8208
misuratore elettromagnetico	0.05	0.4968	0.8208
saracinesca a completa apertura	0.26	0.4968	4.2682
giunto di smontaggio	0.05	0.4968	0.8208
sbocco	0.50	0.4406	13.2676
Sommatoria delle perdite concentrate			***3.5600***

Nel caso in cui la saracinesca sia parzializzata le perdite di carico assumono i seguenti valori:

Gradi di apertura saracinesca	ζ	D_j **[m]**	$\frac{\zeta_j}{D_j^4}$ **[m^{-4}]**	**Sommatoria delle perdite concentrate [m]**
tutta aperta	0.26	0.4968	4.2682	3.5600
aperta a 3/4	0.7	0.4968	11.4914	4.1569
aperta a metà	3.2	0.4968	52.5320	7.5479
aperta a 1/4	18	0.4968	295.4923	27.6230

A prescindere dalle effettive manovre di regolazione della derivazione, che in questa fase non sono predicibili essendo legate alla gestione della singola stagione irrigua, alle portate disponibili ed al vincolo della massima portata derivabile, la verifica idraulica della tubazione è stata effettuata considerando l'intervallo dei valori dei carichi disponibili compresi entro i limiti precedentemente ricordati, ossia 0.3÷3.48 m. Nella seguente tabella sono riportate in funzione delle differenze dei carichi disponibili le portate relative a diverse condizioni di apertura della saracinesca:

DH	Saracinesca			
	tutta aperta Q	aperta a 3/4 Q	aperta a metà Q	aperta a 1/4 Q
[m]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]
0.30	0.149	0.146	0.131	0.089
0.45	0.183	0.179	0.161	0.109
0.60	0.211	0.206	0.185	0.126
0.75	0.236	0.231	0.207	0.141
0.90	0.258	0.253	0.227	0.155
1.05	0.279	0.273	0.245	0.167
1.20	0.298	0.292	0.262	0.179
1.35	0.316	0.310	0.278	0.190
1.50	0.334	0.326	0.293	0.200
1.65	0.350	0.342	0.307	0.210
1.80	0.365	0.358	0.321	0.219
1.95	0.380	0.372	0.334	0.228
2.10	0.395	0.386	0.347	0.237
2.25	0.409	0.400	0.359	0.245
2.40	0.422	0.413	0.371	0.253
2.55	0.435	0.426	0.382	0.261
2.70	0.448	0.438	0.393	0.268
2.85	0.460	0.450	0.404	0.276
3.00	0.472	0.462	0.414	0.283
3.15	0.483	0.473	0.425	0.290
3.30	0.495	0.484	0.435	0.296
3.45	0.506	0.495	0.444	0.303
3.48	0.508	0.497	0.446	0.304

Dalle valutazioni effettuate la tubazione risulta idonea a trasferire la portata massima di prevista nonché al conseguente riempimento dell'invaso in qualsiasi condizione di disponibilità idrica e di differenza dei carichi tra il manufatto di derivazione e l'invaso stesso.

6.1.2.2 Dimensionamento dei collari anti-sifonamento

I collari anti-sifonamento, facendo riferimento alla letteratura tecnica in materia, sono stati predisposti per allungare il percorso di filtrazione del 25% al fine di ridurre le infiltrazioni al contatto rilevato arginale-cassonetto in c.c.a. I collari sono stati sufficientemente distanziati per consentire le operazioni di compattazione.

Le dimensioni dei collari sono state determinate analizzando la filtrazione secondo il metodo di *Bligh e Lane*.

La verifica è stata condotta secondo il metodo di *Bligh e Lane* il quale considera il percorso che l'acqua dovrebbe fare per portarsi da monte a valle di uno sbarramento, lungo il perimetro della fondazione. Il rapporto tra la lunghezza di questo percorso e il carico d'acqua è indicato come rapporto di scorrimento:

$$C = \frac{L}{\Delta h}$$

dove:

- L è la lunghezza, misurata in metri, della porzione di contorno delle fondazioni dell'opera immerse nel terreno al sottostante, supposto poroso e quale ammasso filtrante; si individua, pertanto, il percorso critico dell'acqua di filtrazione al di sotto delle fondazioni del rilevato al contatto con il cassonetto in c.c.a. Nella verifica si considera che la resistenza al moto è molto minore lungo il contatto orizzontale, o quasi, tra il manufatto ed il terreno piuttosto che rispetto ai contatti in direzione verticale.
- Δh è il dislivello d'acqua, o differenza di carico piezometrico fra gli estremi del suddetto percorso, ovvero tra il livello idrico massimo che si instaura nel bacino di accumulo ed il piano campagna.
- C è un coefficiente di sicurezza empirico, i cui valori, riportati nella tabella sottostante (raccomandati da Bligh e Lane), sono determinati in funzione delle caratteristiche litologiche e di permeabilità del terreno esistente al di sotto dell'opera.

	C	
Terreno	Bligh (1910)	Lane (1935)
Sabbia molto fine o limo	18.0	8.5
Sabbia fine	-	7
Sabbia media	-	6
Sabbia grossa	12.0	5
Ghiaia fine	-	4
Ghiaia media	-	3.5
Ghiaia e sabbia	9.0	3.5
Ghiaia grossa con ciottoli	5.0	3
Massi con ciottoli e ghiaia	-	2.5
Massi, ghiaia e sabbia	-	-
Argilla molle	-	3
Argilla media	-	2
Argilla compatta	-	1.8
Argilla molto compatta	-	1.6

Valori del coefficiente di scorrimento consigliati da Bligh e Lane.

Successivamente Lane migliorò il metodo per tener conto della maggiore resistenza al passaggio dell'acqua dai percorsi verticali L_v rispetto a quelli orizzontali L_h. Secondo Lane la formula pertanto diventa:

$$C = \frac{\frac{1}{3}L_h + L_v}{\Delta h}$$

Lo sviluppo del percorso maggiormente critico è, pertanto, prudenzialmente rappresentato dal contorno dell'opera inserita nel mezzo poroso, il cui sviluppo, adeguatamente pesato nei suoi tratti (1/3 se il contatto è orizzontale o inclinato di un angolo ≤ 45°, 1 se è verticale o inclinato di più di un angolo maggiore di 45°), deve essere multiplo del dislivello idrico tra il livello idrico massimo che si instaura nel bacino di accumulo ed il piano campagna. Tale valore deve, quindi, essere superiore al coefficiente di scorrimento C, caratteristico della natura litologica del terreno interessato.

In generale può, dunque, scriversi, detti Lv e Lh rispettivamente le somme degli sviluppi verticali ed orizzontali delle fondazioni della traversa:

$$F = \frac{L_v + 1/3 \cdot L_h}{\Delta h} > C$$

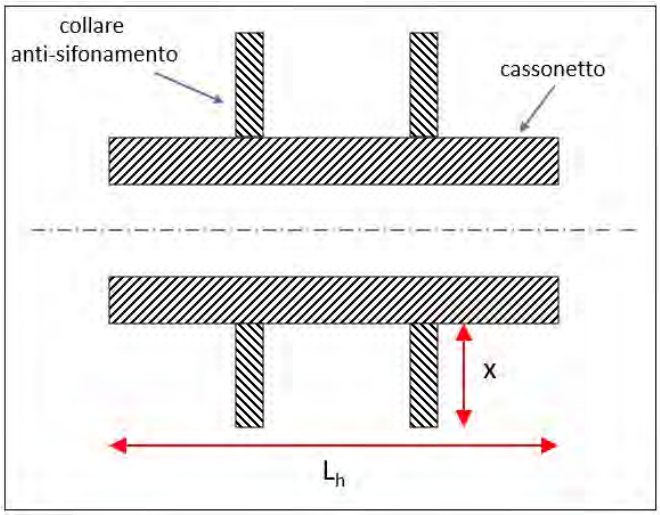
Considerando che i collari anti-sifonamento sono stati predisposti per allungare il percorso di filtrazione del 25% detto N il numero dei collari e x la loro dimensione verticale per allungare il percorso di filtrazione del 25% si ottiene che:

$$2\ x\ N > \frac{L_v}{4}$$

che abbinata all'equazione di Lane fornisce il seguente sistema di equazioni risolutivo del problema di dimensionamento:

$$\begin{cases} L_v = C\ \Delta h - \frac{1}{3}L_h \\ 2\ x\ N > \frac{L_v}{4} \end{cases}$$

dove L_h rappresenta la lunghezza del tratto di condotta inglobata nel cassonetto in c.c.a. e L_v la lunghezza incognita in funzione delle dimensioni e del numero dei collari.



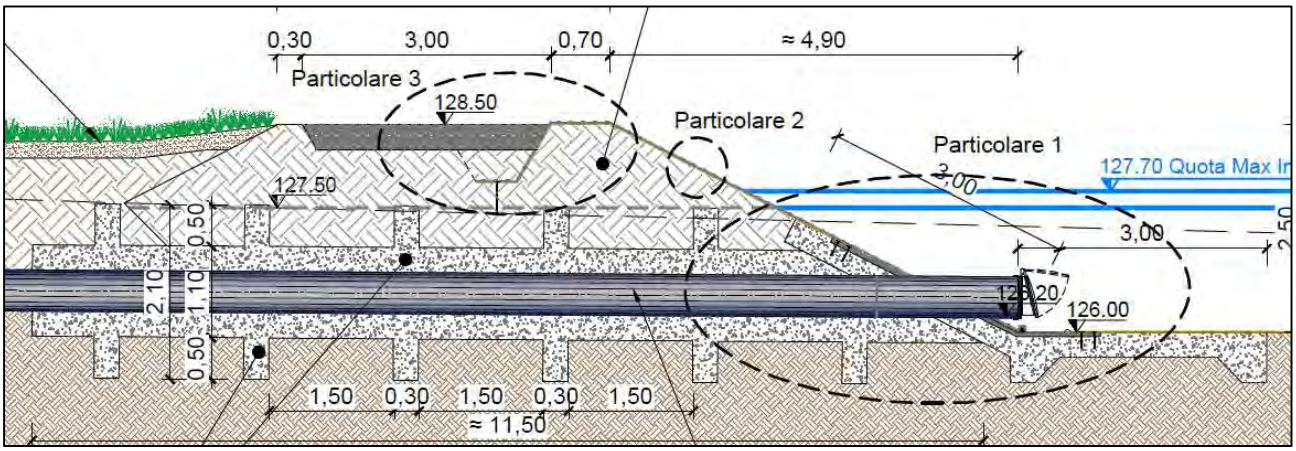
Schema del collare anti-sifonamento

Il coefficiente di scorrimento è stato adottato cautelativamente pari a 4 senza fare riferimento a componenti argillose e/o limose.

La differenza di carico piezometrico fra gli estremi del percorso di filtrazione, è stata valutata prudenzialmente considerando come livello che si dissipa lungo il cassonetto quello dell'invaso alla quota massima di regolazione pari a 127.50 m s.l.m.m. mentre il livello di valle è pari alla quota della fondazione del cassonetto pari a 126.00 m s.l.m.m.

Il carico piezometrico riferito al fondo del bacino di accumulo è pari quindi a 1.5 m.

Si ottiene pertanto, prevendendo N=5 collari lungo lo sviluppo del cassonetto pari a 11.5 m, che l'altezza minima *x* del collare è pari a circa 0.2 m con un fattore di sicurezza pari a 4.0. Adottando per motivi costruttivi un valore di *x* pari a 0.50 m il fattore di sicurezza risulta essere 5.88.



6.2 Invaso

L'**invaso** è l'opera che consente di stoccare il volume idrico necessario ai fini irrigui ed è costituito dai seguenti elementi:

- manufatto di carico, è l'opera che consente di caricare l'invaso in progetto. E' localizzato al piede di monte del rilevato arginale dell'invaso ed è costituito da n. 2 pozzetti prefabbricati ispezionabili dotati di una valvola di regolazione motorizzata e un misuratore di portata elettromagnetico;
- bacino di accumulo, è la parte dell'invaso che viene realizzata tramite scavo del terreno in sito e realizzazione di apposito strato impermeabile;
- rilevato arginale, è la parte dell'invaso che viene realizzata in rilevato tramite riporto e compattazione di idoneo terreno. La sponda interna del rilevato è protetta tramite un apposito strato impermeabile;
- manufatto di scarico, è l'opera che consente di svasare il volume idrico accumulato nella vasca per alimentazione della rete irrigua di valle;
- manufatto di scarico di superficie, realizzato tramite un localizzato abbassamento della sommità del rilevato arginale fino alla quota di massima regolazione. E' costituito da una soglia tracimabile in massi lapidei intasati con calcestruzzo e da un canale fugatore a cielo aperto che allontana le acque di sfioro verso il primo ricettore a disposizione realizzato in massi lapidei posati a secco.

6.2.1 Manufatto di carico

Il manufatto di carico consente di invasare il serbatoio con i deflussi convogliati tramite la condotta di adduzione in derivazione dal manufatto di alimentazione. E' localizzato a sud dell'invaso al piede del rilevato arginale ed è costituito da n. 2 pozzetti prefabbricati ispezionabili dotati di valvola di regolazione e misuratore di portata elettromagnetico. Il tratto di tubazione in attraversamento del rilevato arginale è, infine, stato previsto in PEAD De 500 mm, con spessore di 29,7 mm e con classe di pressione PN10 (SDR 17) con giungi saldati testa a testa al fine di garantire una perfetta tenuta idraulica nonché un'idonea saldatura del tubo al pezzo speciale cartella in PEAD di scarico a lago, debitamente ancorata alla sottostante platea in cemento armato, il tutto per una

perfetta tenuta idraulica del sistema di immissione con le membrane impermeabili interne all'invaso.

La tubazione in PEAD verrà alloggiata in una trincea scavata nel terreno naturale. Attorno ad essa verrà realizzato un cordolo armato in c.c.a. con profilo dentato che consente di aumentare la resistenza alle sollecitazioni meccaniche e ridurre gli eventuali fenomeni di filtrazione. Attorno alla trave il terreno di rinfianco verrà adeguatamente costipato con la massima cura.

La tubazione è stata dimensionata con una pendenza tale da garantire il riempimento dell'invaso a gravità, e soddisfa le verifiche dell'inflessione diametrale e dell'instabilità elastica, come riportato nella relazione idraulica.

L'opera di carico è costituita da:

- una tubazione di carico in pressione in PEAD De 500 mm PN 10;
- n. 1 cartella in PEAD lato lago;
- n. 2 pozzetti di ispezione prefabbricati;
- n. 1 misuratore di portata;
- n. 1 valvola di regolazione della portata motorizzata;
- n. 1 valvola a clapet in testata tubo;
- n. 1 palo con lampada di illuminazione con installazione di 2 videocamere wifi ;
- n. 1 armadio contenente quadro di alimentazione elettrica per valvole, misuratore di portata, illuminazione e sistema di videosorveglianza;
- piping tra pozzetti con tubazione in acciaio DN 500 mm;

predisposizione cavidotto per futura trasmissione segnali telecontrolloDi seguito è riportato un estratto della tavola relativa ai particolari costruttivi riportante le piante e le sezioni del manufatto di carico previste in progetto esecutivo:

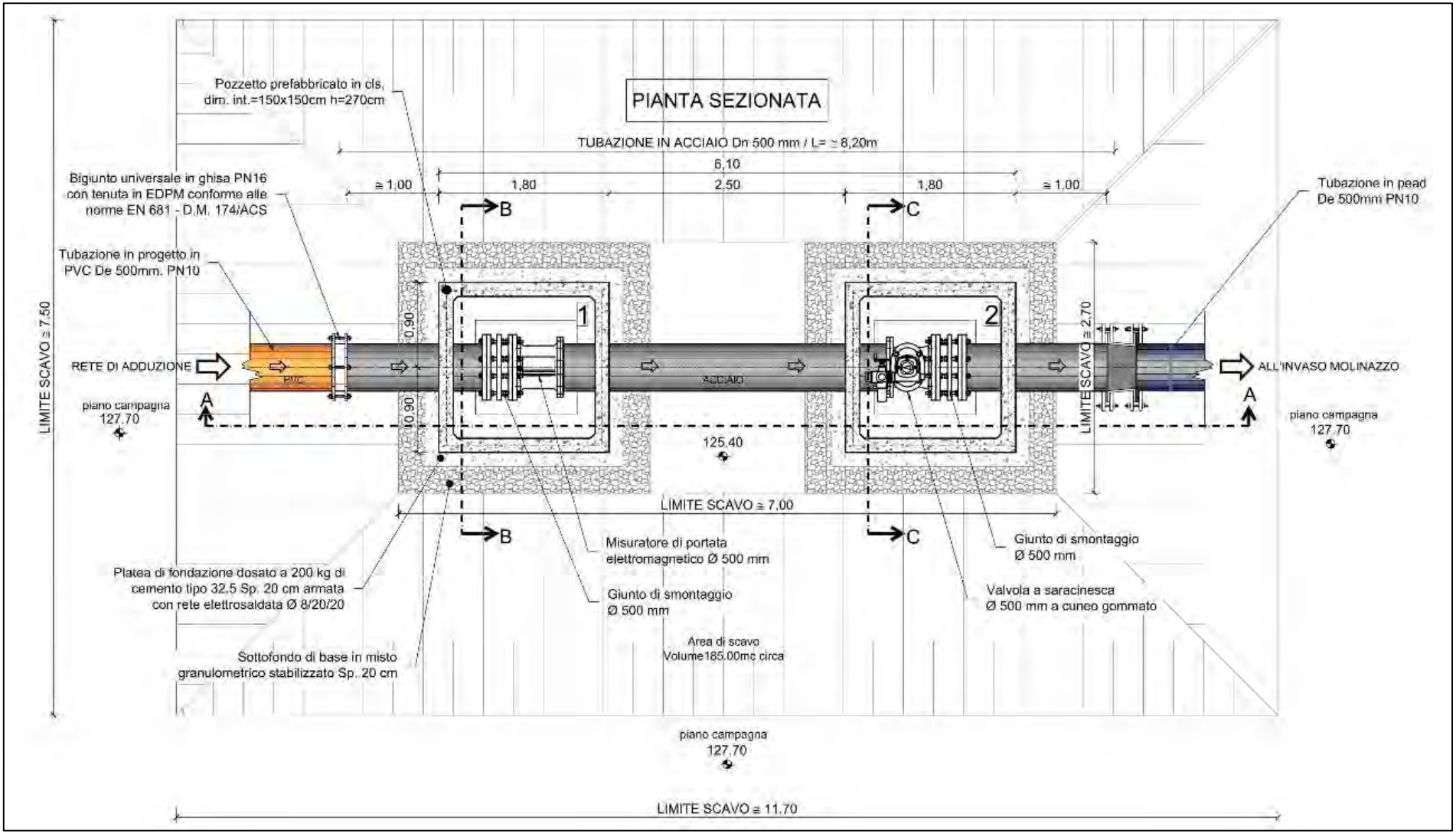


Figura 11 – Manufatto di carico – pianta.

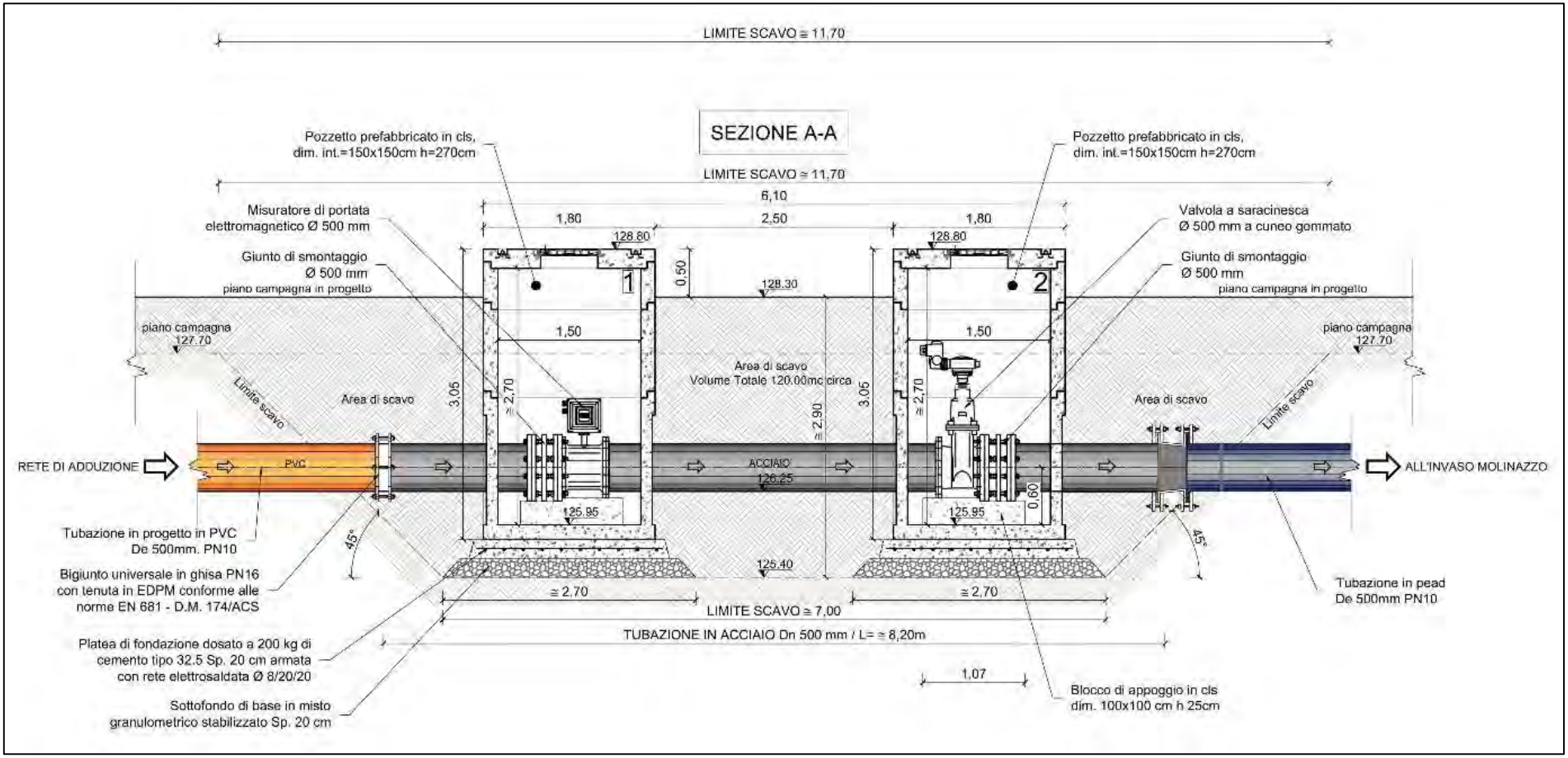


Figura 12 – Manufatto di carico – sezione.

6.2.2 Bacino di accumulo

Il bacino di accumulo in progetto verrà realizzato in terra, in parte in scavo e in parte in rilevato, al fine di massimizzare il volume invasabile, pari a circa 203.000 m^3.

L'invaso verrà riempito e svuotato senza la necessità di sollevare meccanicamente le acque, al fine di contenere i costi di costruzione, oltre quelli per la manutenzione e gestione. L'invaso potrà essere riempito durante il normale esercizio fino alla quota di massima regolazione, oltre la quale avviene lo sfioro tramite uno scaricatore superficiale in massi lapidei in parte intasati con calcestruzzo che recapita le acque della piena di progetto o, comunque, in eccesso, nel limitrofo canale recettore Rio Molino, consentendo di garantire un adeguato franco di sicurezza, pari ad almeno 85 cm, in caso di raggiungimento della quota di massimo invaso.

Il fondo del bacino è caratterizzato da una pendenza variabile, per consentire un maggiore accumulo della risorsa idrica all'interno del bacino e favorire eventuali attività di svuotamento.

All'interno del progetto definitivo a base di gara è contenuta l'analisi idrologica e idraulica per la valutazione del volume utile d'invaso, correlato alla capacità del bacino imbrifero di carico di riempire il serbatoio in progetto, i cui risultati sono stati recepiti senza variazioni in fase di progettazione esecutiva. Nei suddetti documenti sono definite, altresì, le quote che descrivono il corretto funzionamento dell'invaso, la strumentazione idraulica che consente la regolazione e la misurazione della portata in entrata e in uscita dal bacino di accumulo.

Per quanto concerne, invece, il diagramma di svuotamento dell'invaso nell'ambito della presente fase di progettazione sono state sviluppate ed integrate le verifiche aggiuntive e aggiornate tenendo conto della minima variazione dello spessore e, quindi, del diametro interno della tubazione di scarico (da PVC De 500 a PEAD De 500). Tali verifiche integrative sono state specificatamente riportate al *paragrafo 6.3.1* della presente relazione.

6.2.3 Rilevato arginale

Il rilevato arginale svolge la funzione di contenimento della risorsa idrica nel bacino di accumulo, impedendone la fuoriuscita dal serbatoio stesso. L'altezza del rilevato è tale da massimizzare il volume invasabile, mantenendo un adeguato franco di sicurezza in caso della piena di progetto. La sagoma arginale prevede una sistemazione a sezione trapezia con banca lungo il perimetro interno dell'invaso. Il perimetro esterno del rilevato sarà realizzato con un paramento a

pendenza unica variabile lungo i lati a sud, est e ovest, mentre sul lato nord, lungo la strada comunale, sul paramento troverà posto una pista ciclabile ed una sistemazione ambientale, il tutto così come prescritto nel Verbale di Conferenza dei servizi finalizzato al rilascio del Provvedimento di VIA e del Provvedimento Autorizzatorio Unico. La sagoma arginale è stata determinata dal soddisfacimento delle verifiche di stabilità globale, di quelle di filtrazione e sifonamento, al fine di garantire il contenimento della linea di saturazione all'interno della sezione arginale. Il rilevato arginale sarà realizzato in terra, utilizzando buona parte del terreno scavato in sito, ritenuto idoneo a seguito di analisi meccaniche e chimiche miscelato ad una percentuale di terreno portato da apposita cava.

I volumi di scavo e di rilevato sono stati determinati sulla base di modellazioni di dettaglio 3D, in funzione della soggiacenza della falda, del volume di risorsa idrica da invasare e della superficie disponibile, hanno permesso di determinare le quote di scavo e quelle del rilevato.

Nello specifico la realizzazione dell'opera prevede l'impiego e la gestione di volumi di materiale così come riportato al successivo paragrafo 11.

Prima di avviare la fase di progettazione, è stata svolta una campagna geognostica al fine di caratterizzare i terreni presenti in sito e attestarne l'idoneità chimica e meccanica per un eventuale riutilizzo. La campagna ha previsto l'esecuzione sia di prove in sito sia di laboratorio, come dettagliatamente elencato al *capitolo 8* della presente relazione.

La progettazione geotecnica del bacino di accumulo, secondo quanto previsto dall'aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17.01.2018 (NTC-2018), ha riguardato le seguenti verifiche:

- verifiche di stabilità globale per sezioni tipologiche dell'argine in funzione dell'altezza considerando tutte le diverse condizioni di carico che si possono verificare nell'invaso durante la vita utile dell'opera, sia a breve termine che a lungo termine, per gli stati limite ultimo e di esercizio dell'opera previsti dalle vigenti NTC;
- le verifiche di ammissibilità dei cedimenti nei terreni di fondazione dell'argine;
- le verifiche dei fenomeni connessi ai moti di filtrazione e sifonamento;
- la verifiche a galleggiamento.

Le verifiche sono state svolte per la sezione arginale di progetto considerata più critica, quella caratterizzata dalla massima altezza della sommità dell'argine rispetto al piano campagna.

Lo studio del comportamento della diga è stato condotto tramite un approccio di tipo numerico 2D agli elementi finiti con il software *Diana FEA*. La metodologia di calcolo, i parametri utilizzati e le verifiche svolte sono descritti e riportati in dettaglio all'interno dell'elaborato tecnico allegato al progetto esecutivo "*Relazione geotecnica"*.

Sulla sommità del rilevato arginale è, infine, prevista la realizzazione di una pista carrabile lungo tutto il perimetro, al fine di consentire le attività di manutenzione periodica e garantire l'accessibilità alle opere. Tale pista, larga 3,0 m sarà costituita da uno strato di ghiaia di spessore pari a 30 cm. Sul lato sud verrà, inoltre, realizzata una pista di accesso alla sommità arginale, inghiaiata per una larghezza di 3 m e avente una pendenza massima indicativa del 10% , esclusivamente per la rampa di accesso posta a sud.

Le scarpate esterne del rilevato arginale (lato campagna), dopo la profilatura finale, necessiterà di uno strato di terreno vegetale di circa 30 cm, sul quale verrà seminata una cotica erbosa capace di limitare fortemente la corrivazione delle acque meteoriche.

Verrà, infine, realizzata, una recinzione di sicurezza perimetrale all'invaso in rete metallica plastificata di colore verde con due varchi, uno a nord e uno a sud, dotati di cancello, per l'accesso all'area dell'invaso. Negli elaborati grafici, ove possibile, lungo il perimetro esterno dell'invaso viene indicata una fascia, puramente indicativa, da mantenere libera per il passaggio dei mezzi di servizio al fine di facilitare le operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria, le manovre dell'opera di presa e tutte le azioni per la gestione ordinaria dell'invaso.

Alla pagina seguente si riportano le sezioni arginali tipologiche dell'invaso del lato sud e del lato nord in progetto. In particolare le sezioni del lato nord, previste nel presente progetto esecutivo, sono state redatte e verificate sulla base delle sezioni ariginali del progetto definitivo riportate negli elaborati grafici n.ri 140 e 156, dei quali di seguito si allegano gli estratti per completezza.

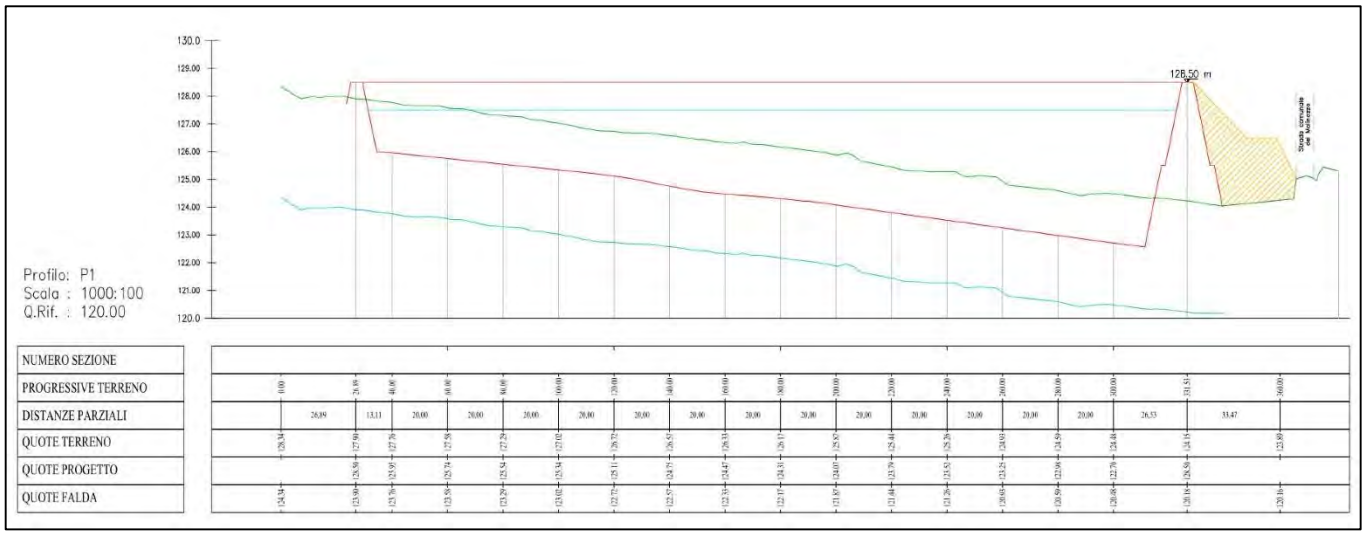


Figura 13.1 – PROGETTO DEFINITIVO - Sezione longitudinale sud/nord del nuovo invaso con relativi rilevati arginali (estratto elab. grafico n. 140 del PD).

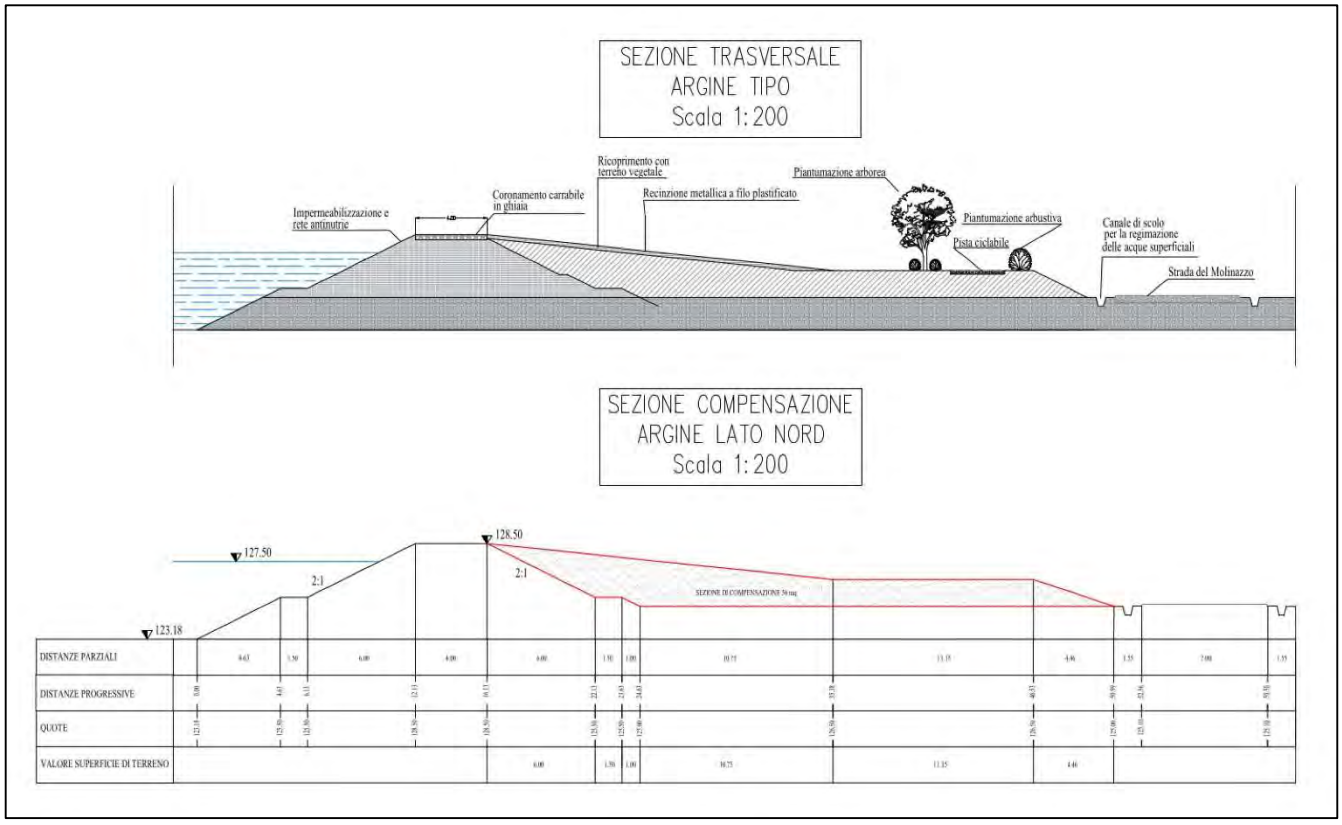


Figura 13.2 – PROGETTO DEFINITIVO - Sezioni tipologiche del rilevato arginale – lato nord (estratto elab. grafico n. 156 del PD).

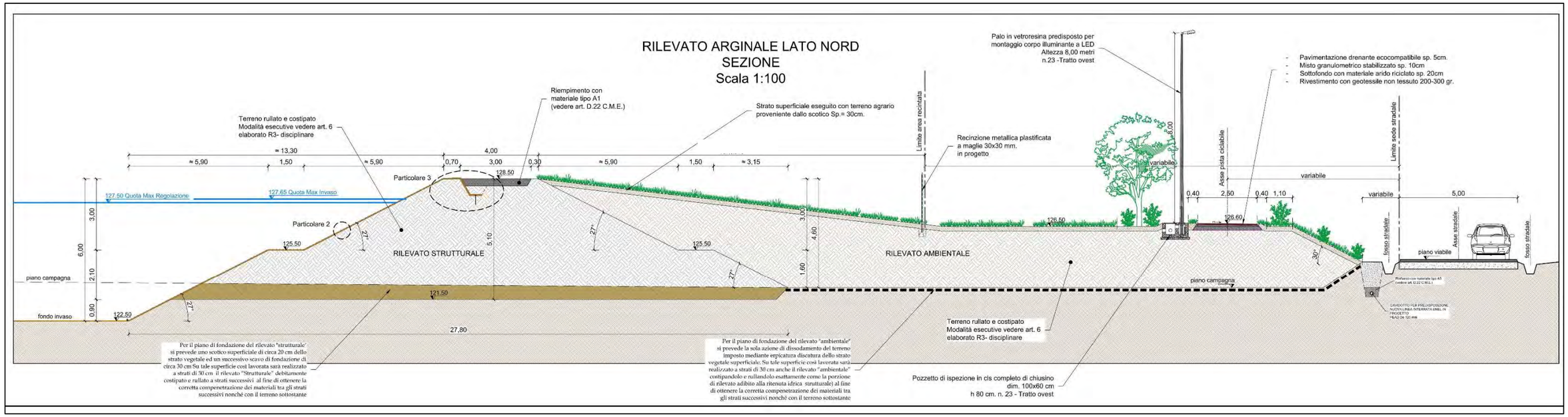


Figura 14.1 – PROGETTO ESECUTIVO - Sezione tipologica del rilevato arginale – lato nord.

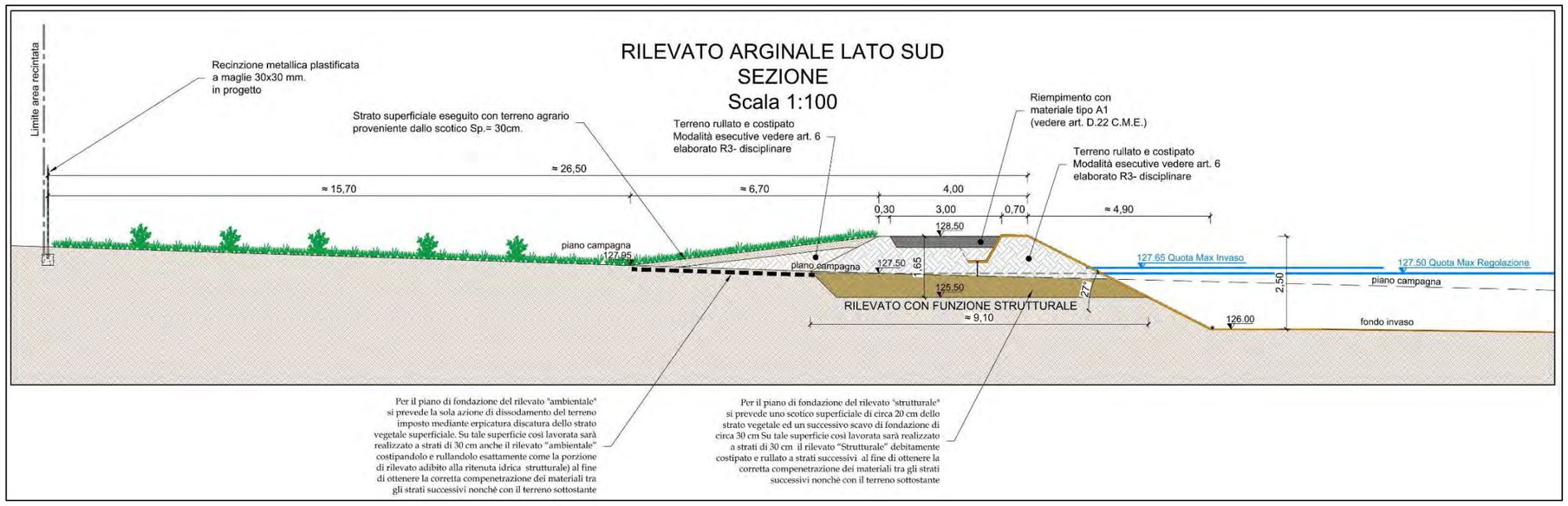


Figura 14.2 – PROGETTO ESECUTIVO - Sezioni tipologiche del rilevato arginale – lato sud.

Al fine di evitare fenomeni di filtrazione e prevenire il fenomeno di sifonamento, il paramento e il fondo del rilevato lato bacino saranno impermeabilizzati mediante un sistema di impermeabilizzazione oggetto di miglioria tecnica in fase di gara d'appalto, finalizzata ad incrementale la durabilità del sistema impermeabilizzante e riguardate tutti i materiali che lo compongono.

Si riportano il raffronto tra quanto previsto in progetto definitivo e quanto offerto in fase di gara di appalto integrato, ovvero previsto in progetto esecutivo e in realizzazione e la stratigrafia costruttiva del sistema di impermeabilizzazione previsto:

Raffronto tra il pacchetto di progetto e di miglioria

Strato	Progetto	**Miglioria**
Terreno	costipato in strati di 20 cm	costipazione con mezzi GPS e strati da 20 cm
Tessuto non tessuto	300 g/m²	**500 g/m²**
Guaina impermeabile	EPDM 1,1 mm	**HDPE 2,5 mm**
Rete superficiale	rete antinutria	**rete di sicurezza**

Figura 15 – Confronto tra sistema di impermeabilizzazione in progetto e in miglioria tecnica.



Figura 16 – Dettaglio stratigrafia del sistema di impermeabilizzazione previsto.

Il sistema di impermeabilizzazione sarà, pertanto, realizzato mediante le seguenti fasi costruttive e componenti:

- preparazione e regolarizzazione del fondo scavo e del terreno di fondazione;
- tessuto non tessuto ad alta tenacità, con grammatura pari a 500 g/m^2;
- telo impermeabile costituito da membrana in HPDE sp. 2,5 mm con caratteristica di resistenza ai roditori ed antiradice;
- rete di sicurezza a maglia mm 150x150 in grado di consentire l'aggrappaggio in caso di scivolamento e resistente ai raggi UV.

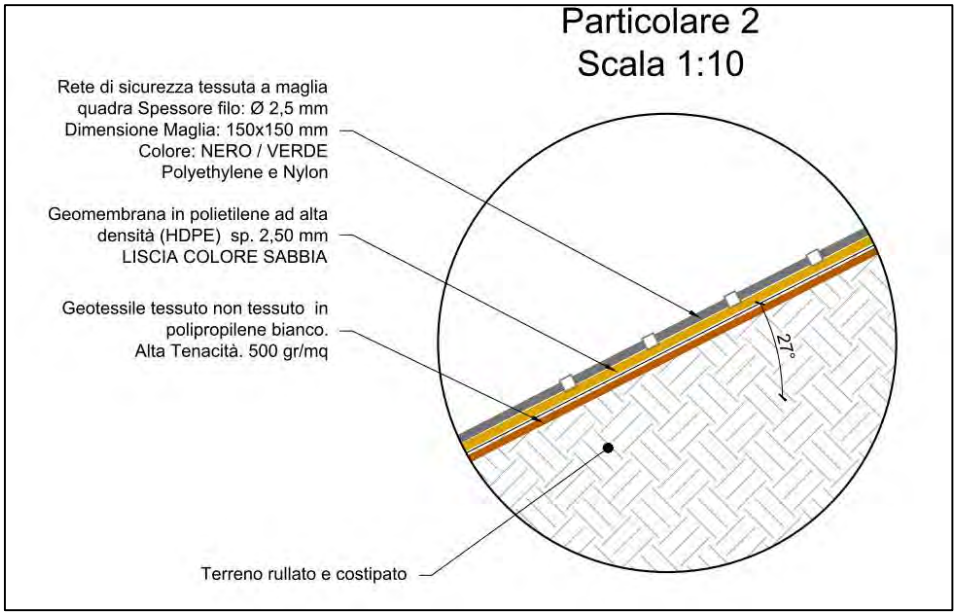


Figura 17 – Dettaglio stratigrafia sistema di impermeabilizzazione invaso previsto in progetto esecutivo.

6.2.3.1 Preparazione del terreno di fondazione

Al fine di garantire la corretta posa in opera della guaina impermeabile è prevista la **realizzazione di un piano finito ottimale.** Le superfici sulle quali si andrà a posare il manto impermeabile avranno, quindi, superficie regolare e saranno adeguatamente compattate per ottenere una superficie rigida atta a resistere alle pressioni esercitate durante la posa dei teli e all'esecuzione delle saldature. Si provvederà, inoltre, a verificare l'assenza di infiltrazioni di acqua, la presenza di fango e di materiale organico che possa produrre biogas fermentando. In questo modo si assicurerà l'assenza di gobbe o pieghe, garantendo la pulizia delle superfici interessate dalle saldature di giunti del sistema di impermeabilizzazione sovrastante.

Il piano di posa del rilevato "strutturale" sarà realizzato mediante asportazione dei primi 20 cm di terreno vegetale (scotico) con uno scavo di sbancamento successivo di ulteriori 30 cm.

Su tale superficie così lavorata sarà realizzato a strati di 30 cm il nuovo rilevato costipandolo e rullandolo accuratamente al fine di ottenere la corretta compenetrazione dei materiali tra gli strati successivi nonché con il terreno sottostante.

Il previsto **rilevato "ambientale"** perimetrale esterno, non avendo una funzione strutturale anche se realizzato con materiali e lavorazioni similari al rilevato strutturale e potendo quindi consentire cedimenti verticali anche dell'ordine di alcuni centimetri, non necessita di particolari attenzioni da porre alla predisposizione del piano di posa. In tal senso il progetto esecutivo prevede la sola azione di dissodamento del terreno imposto mediante erpicatura discatura dello strato vegetale superficiale. Su tale superficie così lavorata sarà realizzato a strati di 30 cm anche il rilevato "ambientale" costipandolo e rullandolo esattamente come la porzione di rilevato adibito alla ritenuta idrica al fine di ottenere la corretta compenetrazione dei materiali tra gli strati successivi nonché con il terreno sottostante.

Tale operazione di preparazione dello strato di contatto del rilevato ambientale con il suolo naturale, comporterà l'asportazione di una minima quota di materiale terroso, stimabile in circa 500 mc. Le operazioni di stesa e compattazione del materiale avverranno con l'impiego di escavatori, dozer e rulli dotati di strumentazione di **controllo automatico GPS** per garantire l'accuratezza e il monitoraggio della produttività durante tutta la durata delle lavorazioni.

Il rilevato arginale verrà realizzato con strati di massimo **30 cm**, costipati con rullo a piede di montone con pressione sui singoli piedi > 25 kg/cm^2 e con un minimo di 6 passate. Verranno impiegati **rulli con sistema di controllo e analisi della compattazione tipo SEISMIC**, il quale regola automaticamente la frequenza di vibrazione ed è in grado di adattarla in funzione della tipologia di terreno da compattare, consentendo di ridurre il numero delle passate necessarie a raggiungere i valori di carico richiesti. I rulli opereranno con sistematicità lungo direzioni parallele garantendo una sovrapposizione tra le varie passate pari ad almeno il 10% della larghezza del rullo.

Durante i lavori di preparazione del piano di fondazione saranno eseguite prove di piastra subito dopo la compattazione con il rullo, per verificare l'idoneità della stessa.

6.2.3.2 Tessuto non tessuto

Rispetto al tessuto non tessuto in PP da 300 g/m^2 previsto in progetto definitivo, si prevede la fornitura e posa di un geotessile non tessuto agugliato in polipropilene alta tenacità stabilizzato avente caratteristiche tecniche superiori da 500 g/m^2 rispetto a quelle di progetto come indicato nella seguente tabella di raffronto:

Raffronto tra il TNT di progetto e di miglioria

Parametro	Progetto	Miglioria
Massa	300 g/m²	**500 g/m²**
Resistenza a trazione	22 kN/m	**35 kN/m**
Resistenza a punzonamento	3,6 kN	**6,4 kN**
Spessore a 2 kPa	2,5 mm	**3,5 mm**

Figura 18 – Confronto tra TNT in progetto e in miglioria tecnica.

La maggiore resistenza del prodotto proposto lo rende un'efficace strato antipunzonante a contatto con lo strato impermeabile, incrementando così la durabilità dell'intero pacchetto.

6.2.3.3 Membrana impermeabile

Rispetto al telo in EPDM di spessore 1,1 mm previsto in fase definitiva si prevede la fornitura e posa di **membrana in HDPE di spessore 2,5** mm, conforme alla norma UNI 11309, liscia e di color sabbia, avente caratteristiche tecnico-prestazionali superiori rispetto alle previsioni di progetto definitivo, come indicato nella seguente tabella di raffronto.

Raffronto tra il geomembrana impermeabile di progetto e di miglioria

Parametro	Progetto	Miglioria
Materiale Colore	EPDM nero	**HDPE** **sabbia**
Spessore	1,1 mm	**2,5 mm**
Resistenza a punzonamento	0.8 kN	**6,5 kN**
Resistenza a trazione	9 N/mm²	**33 N/mm²**

Figura 19 – Confronto tra membrana impermeabile in progetto e in miglioria tecnica.

L’incremento della resistenza a trazione e al punzonamento consentirà di **incrementare la durabilità dell’impermeabilizzazione garantendo la resistenza all'azione dei roditori (come da dichiarazione del produttore nota del 27.03.2024) e la non penetrazione delle radici (UNI 11309 punto 8.2.12 per detinazioni d’uso della geomembrana in classe F, UNI EN 16993).**

La geomembrana in HDPE prevista è preliminarmente testata in laboratorio per verificare il meccanismo di degrado applicando temperature elevate, sollecitazioni elevate, esposizione, raggi ultravioletti e liquidi di contatto particolarmente aggressivi, garantendo un durabilità stimata superiore a 100 anni per quanto concerne la resistenza alla degradazione.

La geomembrana HDPE prevista risulta, inoltre, **atossica** come riportato nel certificato di potabilità rilasciato da ente terzo.

Le modalità di **esecuzione e di controllo della qualità di giunti saldati** delle membrane e teli impermeabili sono regolamentate dalla norma UNI 10567. Le saldature tra i teli verranno, quindi, eseguite con giunto a doppia saldatura con canaletta di prova per il collaudo (a) con l’impiego di attrezzature di tipo meccanizzato. Per alcuni dettagli costruttivi invece verrà eseguito il giunto a cordone sovrapposto (b). Per ogni giunto eseguito l’impresa esecutrice fornirà specifico Rapporto di saldatura.

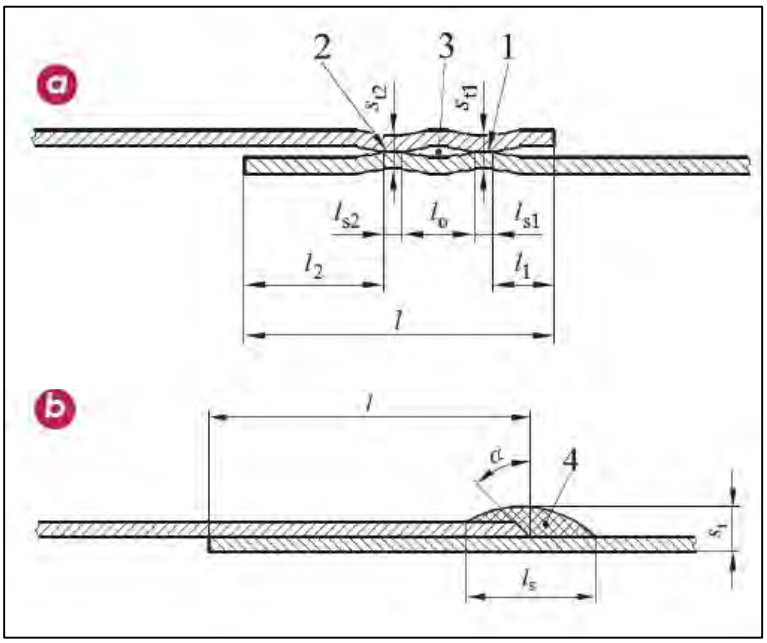


Figura 20 – Dettaglio modalità di saldatura membrana.

La guaina proposta in fase di miglioria tecnica di gara e prevista in progetto esecutivo è facilmente saldabile ad altri elementi in polietilene (tubi in PEAD ed alle cartelle in PEAD di ingresso/uscita dall'invaso) al fine di garantire la perfetta tenuta idraulica del sistema..

Saranno, in particolare, impiegati i seguenti elementi e accorgimenti tecnici ed operativi per la risoluzione dei principali dettagli costruttivi e a garanzia della conformità e della funzionalità dell'opera.

- **Passaggio tubazioni:** in corrispondenza dell'attraversamento delle tubazioni del rilevato arginale verrà installata una cartella in polietilene, debitamente tassellata alla sottostante platea in cemento armato, alla quale potranno essere saldati i teli con un giunto a cordone sovrapposto. Si riportano nel seguito alcune immagini estratte dagli elaborati grafici di Progetto esecutivo.

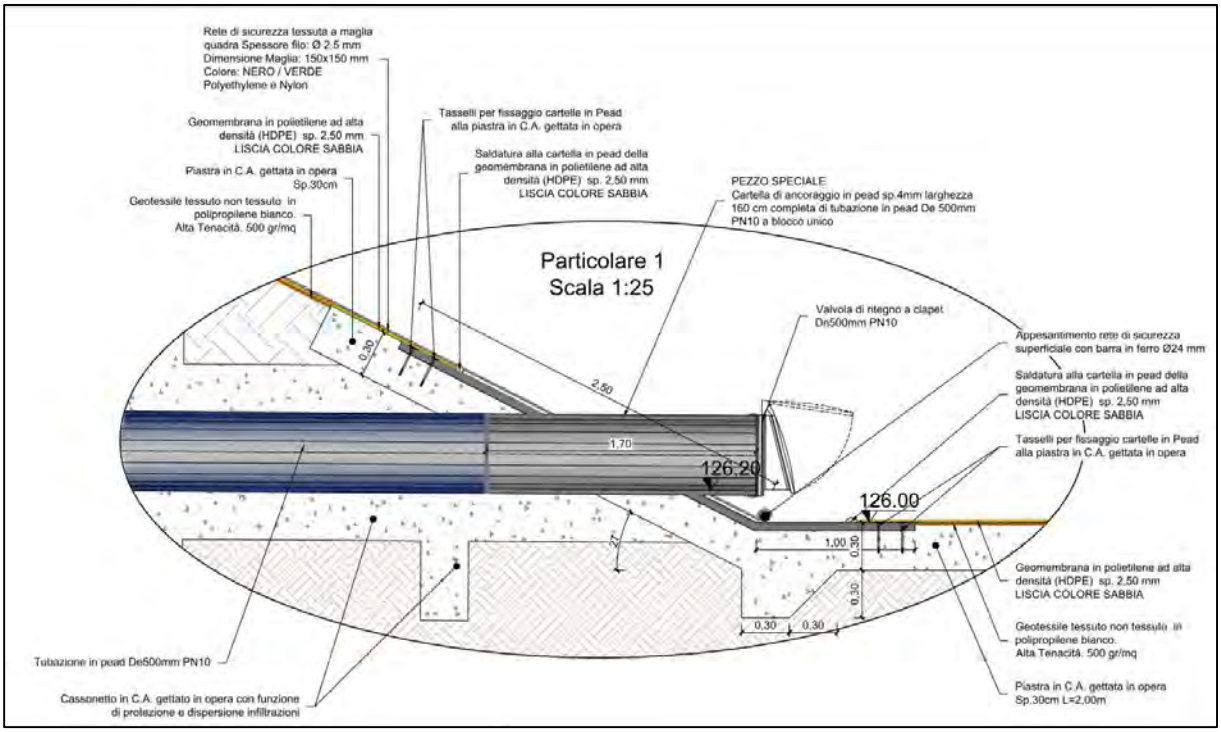


Figura 21 – Dettaglio costruttivo tubazione di carico con pezzo speciale in PEAD e cartella dotata di predisposizione per ancoraggio ai teli impermeabili in HPDE.

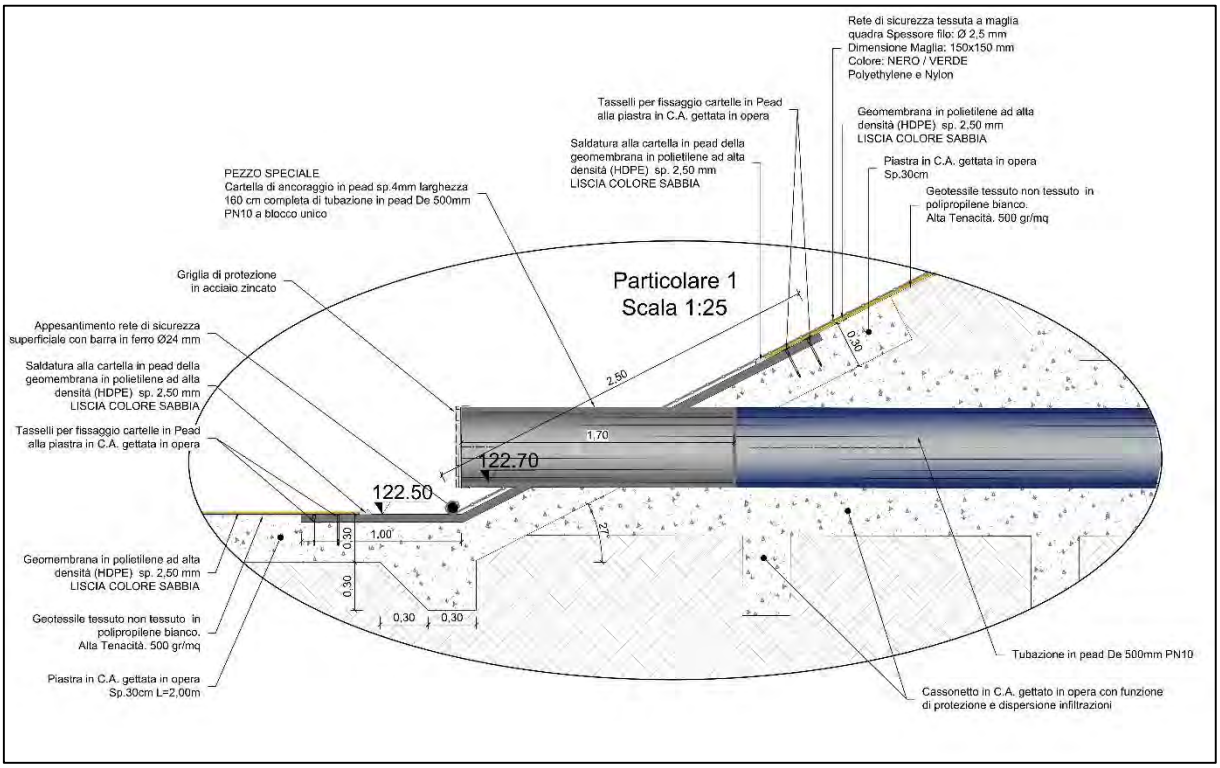


Figura 22 – Dettaglio costruttivo tubazione di scarico con pezzo speciale in PEAD e cartella dotata di predisposizione per ancoraggio ai teli impermeabili in HPDE.

Ai fini della posa in opera del sistema di impermeabilizzazione e della guaina in HPDE saranno seguiti i seguenti criteri, modalità applicative e controlli in corso d'opera:

- **Immorsamento del sistema di impermeabilizzazione in corrispondenza della sommità del rilevato arginale:** al fine di garantire la stabilità a sfilamento longitudinale e limitare le eventuali deformazioni a medio-lungo termine del sistema, garantendo nel contempo l'impermeabilità completa del franco idraulico prevsito (1 metro).

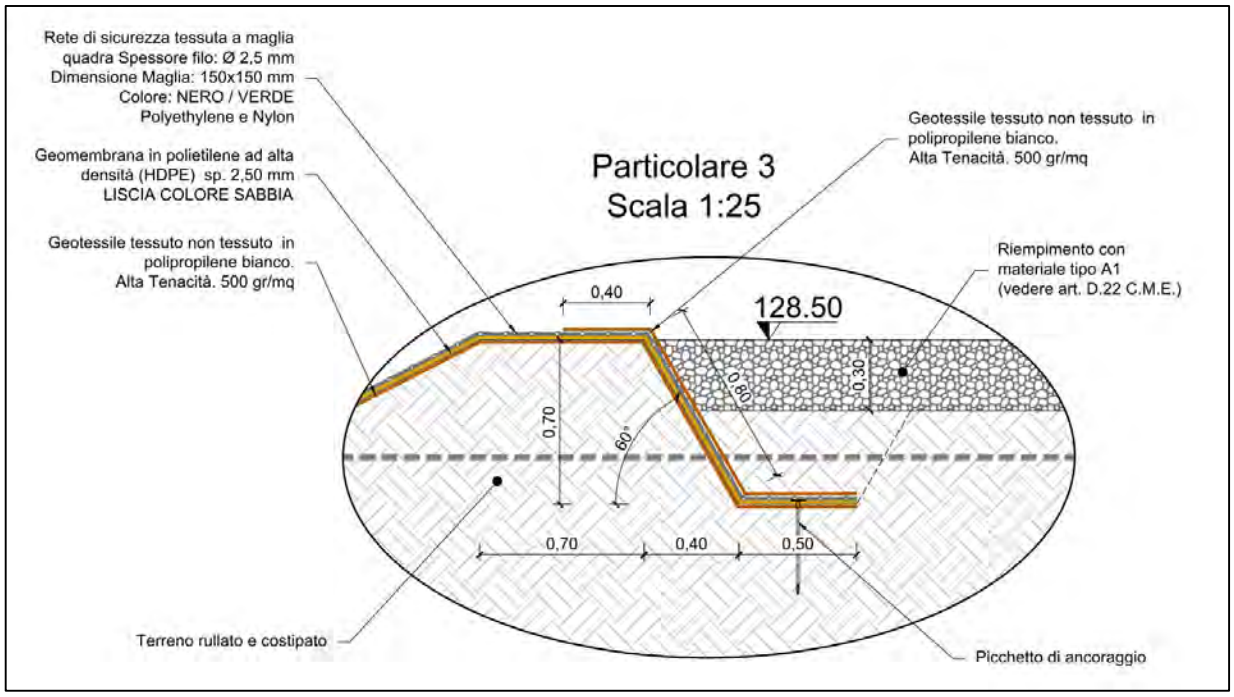


Figura 23 – Dettaglio costruttivo innesto sistema di impermeabilizzazione in corrispondenza della sommità del rilevato arginale e della relativa pista di servizio carrabile.

- **Marcatura dei rotoli:** sarà garantita la completa tracciabilità e marcatura del prodotto per il facile riconoscimento dello stesso in sito. Ogni rotolo fornito prevede una etichetta identificativa con nr. di lotto di produzione e nr. di rotolo per la rintracciabilità, anche dopo la totale posa dello stesso. Detti numeri sono riportati anche nei Certificati di controllo rotolo (inviato per ciascun rotolo fornito) e sul packing list che accompagna i documenti di trasporto. Tali numeri identificativi verranno anche utilizzati dalle società di posa per redigere il piano di posa dei teli.

- **Diagramma di posa dei teli: u**na volta realizzato lo scavo verrà eseguito un rilievo topografico e tramite laserscanner 3D con nuvola di punti che verrà trasmessa al produttore dei teli in HDPE. Il produttore avrà, quindi, a disposizione le informazioni per realizzare i

teli delle dimensioni più grandi possibili in modo da diminuire il numero delle saldature. Il disegno di dettaglio frutto della collaborazione tra i posatori e il fornitore consentirà di avere teli in cantiere di dimensioni ottimali per velocizzare le lavorazioni ed evitare errori di posa. Verrà, inoltre, compilato il diagramma di posa dei teli con tutte le informazioni necessarie per la verifica ed il controllo della corretta posa: numerazione univoca del telo (n. di rotolo) e della saldatura, tipologia di saldatura, punto di prelievo della saldatura.

- **Controlli in corso d'opera:** ai sensi della UNI 10567 si eseguiranno i seguenti controlli in corso d'opera:
  - controlli preliminari alle operazioni di saldatura;
  - controllo delle geomembrane e del materiale d'apporto: al fine di verificare la conformità del materiale al certificato di controllo effettueremo i campionamenti e le relative prove di laboratorio;
  - controllo delle attrezzature di saldatura;
  - controllo dei requisiti di qualificazione dei saldatori;
  - controllo delle procedure di saldatura;
  - controlli successivi all'esecuzione dei giunti saldati: esame visivo dei giunti saldati;
  - prova di impermeabilità dei giunti saldati tramite prova in pressione introducendo aria compressa nella canaletta di prova;
  - esame dimensionale;
  - prova di resistenza a pelatura.

  A fine posa verrà eseguito il controllo del 100% delle saldature verrà rilasciato specifico certificato di conformità da parte della ditta esecutrice della posa.

- **Riparabilità:** i giunti saldati risultanti eventualmente difettosi a seguito del controllo saranno oggetto di riparazione. Le riparazioni verranno effettuate realizzando un giunto a cordone sovrapposto. La stessa modalità verrà adottata in caso di danni o rattoppi.

- **Migliore integrazione paesaggistica**: l'impiego della geomembrana color sabbia garantirà, nel contempo, una **migliore integrazione del bacino nel paesaggio circostante**, anche in assenza di acqua, come ravvisabile dalle seguenti immagini esemplificative tratte da lavori

analoghi:



Figura 24 – Esempio tipologico membrana in HPDE color sabbia.



Figura 25 – Esempio tipologico membrana in HPDE color sabbia.

- **La geomembrana in** HDPE da 2,5 mm non viene penetrata dalle radici ed è resistente all'aggressione da parte dei roditori, pertanto assolverà anche la funzione di barriera anti-nutria, nel rispetto di quanto progettualmente previsto in fase definitiva (così come dichiarato con propria nota dal fornitore)

6.2.3.4 Rete di sicurezza

Il progetto esecutivo prevede la fornitura e posa di una rete tipo Ribola Rete MIX 4F maglia 150 x 150 mm di colore verde o nero, resistente ai raggi UV, posizionata esclusivamente lungo la scarpata del bacino. La dimensione della maglia è adeguata per consentire la risalita di una persona accidentalmente caduta all'interno del lago.

Nella parte superiore la rete verrà ancorata alla berma dove risvolta il resto del pacchetto di impermeabilizzazione, mentre a fondo invaso la rete verrà dotata di un contrappeso inserito all'estremità realizzato da un barra di acciao.

6.2.3.5 Monitoraggio rilevati arginali invaso

Il progetto prevede l'installazione nel rilevato arginale di n. 4 assestimetri a piastra al fine di monitorare gli eventuali cedimenti. Gli assestimetri saranno installati lungo i rilevati arginali con maggiore elevazione dal piano campagna, cosi come rappresentato nell'elaborato grafico D2, e più precisamente n. 3 lungo il lato nord dell'invaso ed uno a nord-ovest.

6.3 Manufatti idraulici di regolazione e scarico invaso

I manufatti idraulici con lo scopo di regolare il livello di invaso e, all'occorrenza, provvederne allo scarico e allo svuotamento, oltre al manufatto di carico descritto al *paragrafo 6.2.1*, sono costituiti da:

- manufatto di scarico;
- manufatto di scarico di superficie.

6.3.1 Manufatto di scarico

Il manufatto di scarico è l'opera che consente di svasare il volume idrico accumulato nell'invaso in progetto e alimentare le reti irrigue sottese. Il manufatto di scarico è costituito da una tubazione in PEAD annegata in una trave in c.c.a., protetta in ingresso da una struttura dotata di apposita griglia. La tubazione non può attraversare il corpo del rilevato arginale e pertanto verrà alloggiata in una trincea scavata nel terreno naturale. Attorno ad essa verrà realizzato un cordolo armato in c.c.a. dotato di collari anti-sifonamento anch'essi realizzati in c.c.a. che consentirà di aumentare la resistenza alle sollecitazioni meccaniche e ridurre gli eventuali fenomeni di filtrazione. Attorno alla trave il terreno

di rinfianco verrà adeguatamente costipato con la massima cura. Questa tubazione da un lato consentirà di prelevare i volumi irrigui necessari al soddisfacimento dei fabbisogni colturali dell'areale servito dall'invaso e, dall'altro, di svuotare quasi completamente il bacino stesso in caso di necessità.

Sulla tubazione di scarico sono previsti una valvola di regolazione della portata motorizzata e un misuratore di portata elettromagnetico (oltre ai tronchetti in acciaio necessari per l'installazione degli organi di regolazione). Tali apparecchiature saranno realizzate all'interno di un apposito pozzetto in c.c.a. costituito da n. 2 blocchi prefabbricati, ispezionabili e accessibili da piano campagna, ciascuno avente dimensione pari a m 1,50 x 1,50 e altezza 1,5 ÷ 3,0 m.

Con la tubazione di scarico sarà, inoltre, possibile alimentare anche la tubazione Terzuola dei Fiducia mediante l'installazione di un giunto a T. Sul tronco di connessione con la condotta Terzuola dei Fiducia è collocata una valvola di regolazione motorizzata all'interno di un pozzetto prefabbricato in c.c.a. ispezionabile e accessibile da piano campagna, ciascuno avente dimensioni interne pari a m 1,50 x 1,50.

L'opera di scarico e distribuzione è costituita da:

- una tubazione di scarico in pressione in PEAD De 500 mm Pn 10.;
- n. 1 cartella in PEAD lato lago
- n. 3 pozzetti di ispezione prefabbricati;
- n. 1 misuratore di portata;
- n. 2 valvole di regolazione della portata motorizzate;
- n. 1 griglia metallica in testata tubo;
- n. 1 palo con lampada di illuminazione con installazione di una videocamera wifi ;
- n. 1 armadio contenente quadro di alimentazione elettrica per valvole, misuratore di portata, illuminazione e sistema di videosorveglianza;
- piping tra pozzetti con tubazione in acciaio DN 500 mm;
- predisposizione cavidotto per futura trasmissione segnali telecontrollo.

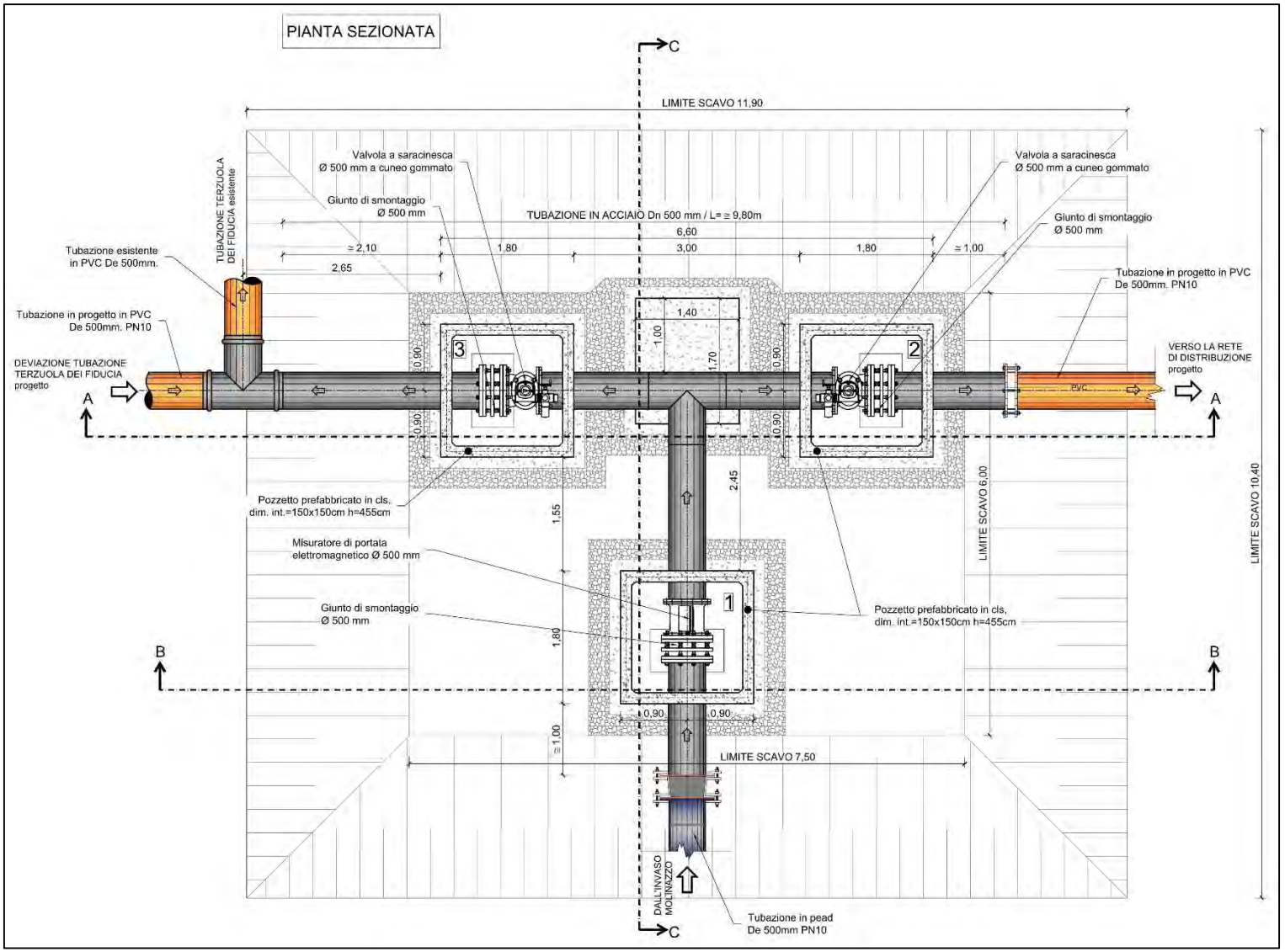


Figura 26 – Manufatto di scarico – pianta.

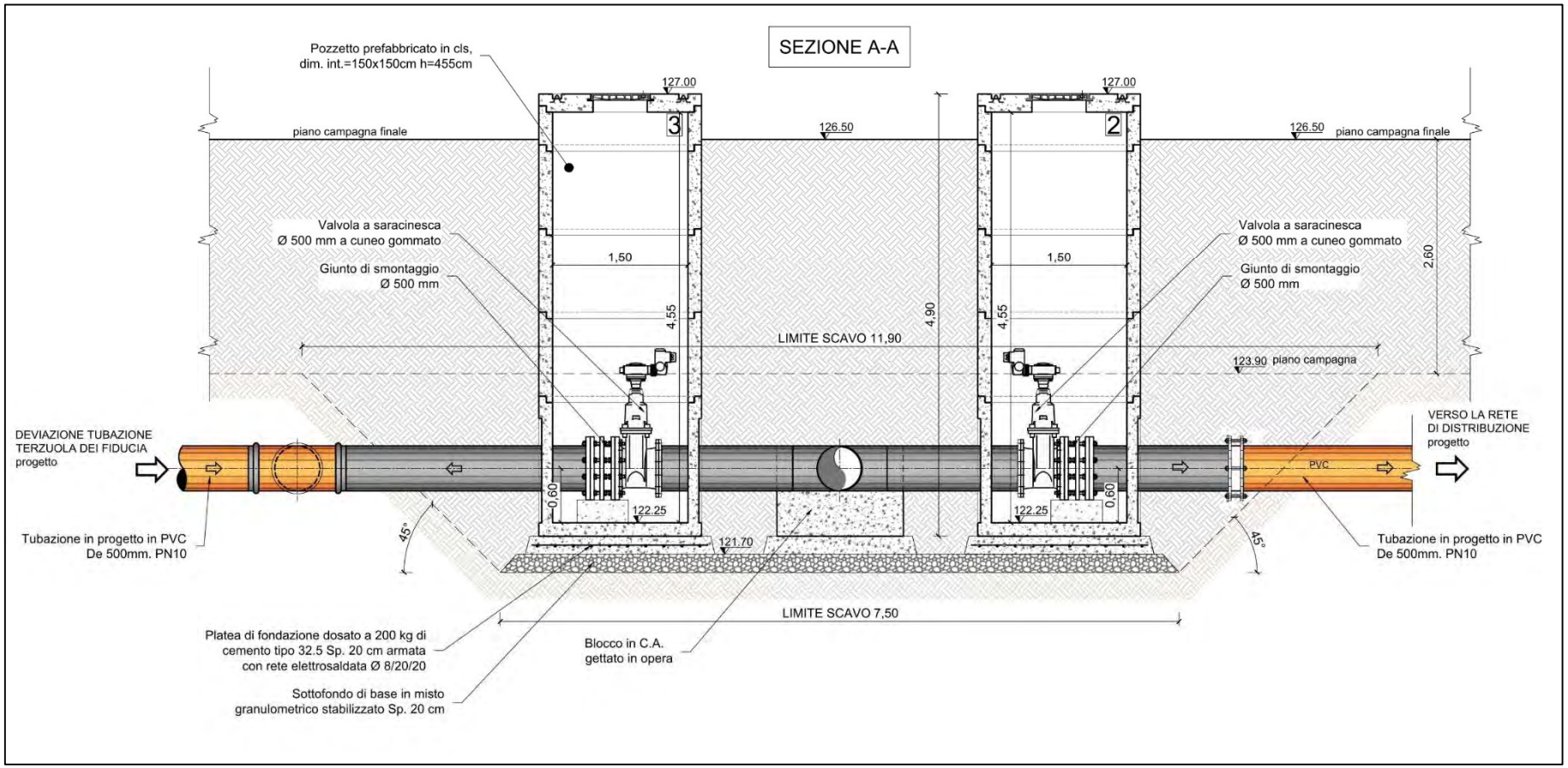
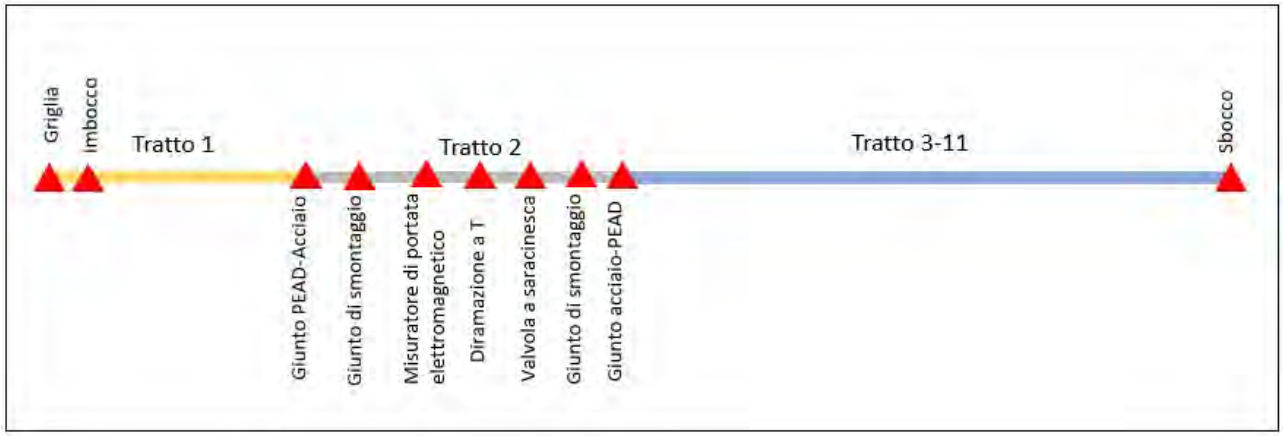


Figura 27 – Manufatto di scarico – sezione.

6.3.1.1 Verifica idraulica della tubazione di distribuzione

In relazione alla differenza di diametro interno tra la tubazione in PVC prevista in fase di progetto definitivo, nell'ambito della presente progettazione esecutiva sono stati effettuati i pertinenti aggiornamenti delle verifiche idrauliche della tubazione, le quali vengono nel seguito riportate.

Il tratto di condotta di distribuzione, come si può desumere dagli elaborati grafici allegati alla documentazione progettuale, è stato schematizzato idraulicamente come rappresentato nella seguente figura:



In tabella sono indicate le caratteristiche fisiche e geometriche delle condotte previste in progetto:

Tratto	Materiale tubazione	DN [mm]	Spessore [mm]	D_i [mm]	Lunghezza [m]	Pendenza media
1	PEAD	500	29.7	440.6	35	0.0019
2	Acciaio	500	5.6	496.8	17	0.0019
3	PVC-U rigido	500	19.1	461.8	105	0.0011
4	PVC-U rigido	500	19.1	461.8	294	0.0117
5	PVC-U rigido	500	19.1	461.8	66	0.0091
6	PVC-U rigido	500	19.1	461.8	70	0.0007
7	PVC-U rigido	500	19.1	461.8	23.8	0.0232
8	PVC-U rigido	500	19.1	461.8	46.8	0.0076
9	PVC-U rigido	500	19.1	461.8	60	0.0008
10	PVC-U rigido	500	19.1	461.8	63.7	0.0078
11	PVC-U rigido	500	19.1	461.8	20.7	0.0020

La tubazione di distribuzione da un lato consente di prelevare le portate irrigue necessarie al soddisfacimento dei fabbisogni colturali dell'areale servito dall'invaso, e dall'altro di svuotare quasi completamente il bacino stesso.

Il dimensionamento dello scarico è eseguito mediante la simulazione dello svuotamento

dell'invaso con lo scopo di calcolare il tempo occorrente per lo svuotamento dell'invaso e la massima portata che può essere scaricata tramite lo stesso.

Lo svuotamento dell'invaso è stato calcolato integrando l'equazione di continuità:

$$\frac{Q_e(t)+Q_e(t+\Delta t)}{2} - \frac{Q_u(t)+Q_u(t+\Delta t)}{2} = \frac{W(t+\Delta t)-W(t)}{\Delta t}$$

dove con Q_e *e* Q_u si sono indicate rispettivamente la portata entrante all'invaso e la portata uscente dallo scarico, espresse dalle leggi di efflusso caratteristiche delle varie fasi di funzionamento analizzate, nonché la legge quota-volume determinata dall'analisi della morfologia del bacino di invaso. Il termine $W(t)$ rapresenta la variazione del volume idrico nell'invaso in funzione del tempo.

I tempi di svuotamento all'istante i-esimo si calcolano scrivendo l'equazione di continuità dell'invaso nella forma:

$$t_i = t_{i-1} + \frac{W_{i-1} - W_i}{(Q_{i-1} + Q_i)\cdot 0.5}$$

Nel calcolo del tempo di svuotamento la portata Q_e che esprime un eventuale apporto idrico all'invaso durante le operazioni di scarico è posta costante e pari a zero intercludendo la possibilità di derivazione.

Per il dimensionamento e la verifica della tubazione nelle condizioni di svuotamento dell'invaso si è fatto riferimento al modello in moto permanente di un fluido incomprimibile entro condotte cilindriche in pressione. La perdita di carico totale per unità di lunghezza della condotta è pari alla corrispondente perdita di carico piezometrico (pendenza motrice). Essa è correlata alle grandezza caratteristiche del moto, della condotta e del fluido dall'equazione:

$$h_1 - h_2 = \beta_r \frac{Q^2}{D^5} L + \sum_i P_{conc,i}$$

dove:

- $h_1 - h_2$ è la differenza di carico piezometrico
- $\beta_r = \frac{10.3}{K_S D^{1/3}}$ è il coefficiente di resistenza dimensionale secondo Gauckler-Strickler avendo indicato con K_S il coefficiente di scabrezza

- Q è la portata
- D è il diametro della condotta
- L è la lunghezza dela condotta
- $\sum_i P_{conc,i}$ rapresenta le sommatoria delle perdite di carico concentratedei singoli dispositivi di regolazione/misura o accoppiamento

La formula indicata può essere specializzata al caso in esame esplicitando il calcolo della portata in funzione della differenza di carico tra il livello variabile nell'invaso e la quota in corrispondenza dello sbocco atteso che la regolazione delle portate derivate avverrà al manufatto di scarico mediante l'azionamento dell'apposita valvola di regolazione della portata il tempo di svuotamento è stato stimato nell'ipotesi di completa apertura degli organi.

Il livello idrico iniziale nell'invaso è considerato pari alla quota massima di regolazione 127.50 m s.l.m.m..

La formula che esprime le perdite dovute al moto uniforme nella condotta di distribuzione è la seguente:

$$Q = \sqrt{\frac{h_1 - h_2}{\sum_{j=1}^{3}\left(\frac{10.3}{K_{S,j}^2\, D_j^{1/3}}\,\frac{L_j}{D_j^5}\right) + \frac{8}{\pi^2\, g}\,\sum_{i=1}^{6}\left(\frac{\zeta_j}{D_j^4}\right)}}$$

Il calcolo delle perdite di carico distribuite rappresentate dal termine $\sum_{j=1}^{3}\left(\frac{10.3}{K_{S,j}^2\, D_j^{1/3}}\,\frac{L_j}{D_j^5}\right)$ è riportato schematicamente nella seguente tabella:

Tratto	Materiale tubazione	D_i [mm]	Lunghezza [m]	K_S [$m^{1/3}\,s^{-1}$]	Perdite distribuite [m]
1	PEAD	440.6	35.0	120	1.9814
2	Acciaio	496.8	17.0	100	0.7306
3	PVC-U rigido	461.8	105.0	120	4.6264
4	PVC-U rigido	461.8	294.0	120	12.9539
5	PVC-U rigido	461.8	66.0	120	2.9080
6	PVC-U rigido	461.8	70.0	120	3.0843
7	PVC-U rigido	461.8	23.8	120	1.0487
8	PVC-U rigido	461.8	46.8	120	2.0621
9	PVC-U rigido	461.8	60.0	120	2.6437
10	PVC-U rigido	461.8	63.7	120	2.8067
11	PVC-U rigido	461.8	20.7	120	1.7933
Sommatoria delle perdite distribuite					***36.6389***

Il calcolo delle perdite concentrate:

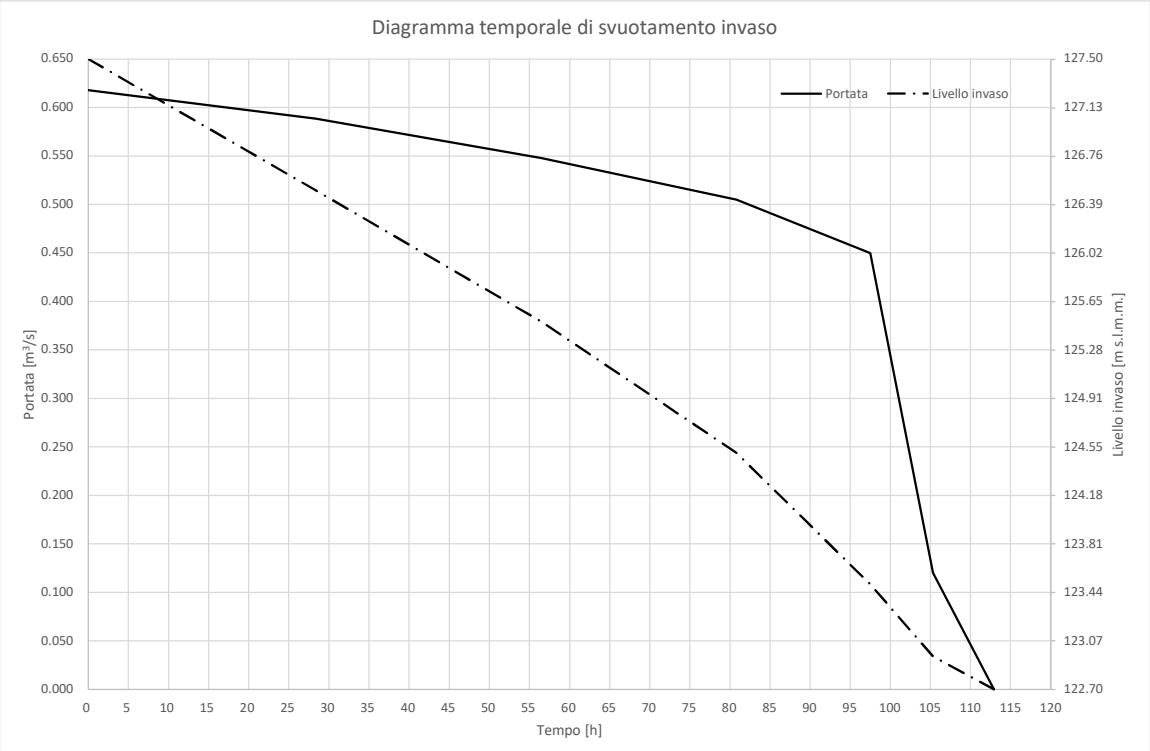
$$\frac{8}{\pi^2\, g} \sum_{i=1}^{6} \left(\frac{\zeta_j}{D_j^4} \right)$$

valutate rispettivamente in corrispondenza dell'imbocco; dei dispositivi di regolazione, misura o accoppiamento presenti in corrispondenza del manufatto di carico; nonché dello sbocco della condotta di adduzione è sintetizzato nella seguente tabella:

Descrizione	ζ	D_j [m]	$\frac{\zeta_j}{D_j^4}$ [m^{-4}]
griglia all'imbocco	0.32	0.4406	8.4913
imbocco	1	0.4406	26.5352
giunto PEAD/acciaio	0.1	0.4406	2.6535
giunto di smontaggio	0.05	0.4968	0.8208
misuratore elettromagnetico	0.05	0.4968	0.8208
diramazione a T	0.75	0.4968	12.3122
saracinesca a completa apertura	0.26	0.4968	4.2682
giunto di smontaggio	0.05	0.4968	0.8208
giunto acciaio/PVC	0.1	0.4968	1.6416
sbocco	0.5	0.4618	10.9940
Sommatoria delle perdite concentrate			***5.7309***

Nella seguente tabella sono schematizzati i calcoli effettuati per la valutazione del tempo di svuotamento dell'invaso , il quale risulta stimabile in circa 113 ore (4.7 giorni circa) a fronte della durata di circa 107 ore (4.5 giorni circa) stimata con le previsioni del progetto definitivo. La differenza del 5% circa rispetto a quanto previsto in progetto definitivo è di entità sostanzialmente trascurabile in termini di durata complessiva delle operazioni. Tale tempistica può, in tal senso, essere ritenuta idonea e compatibile con la funzionalità dell'opera in progetto e con le previsioni di progetto definitivo.

Quota Invaso [m s.l..m.]	Volume Invaso [m^3]	$Q_{scaricata}$ [m^3/s]	Tempo [h]	Tempo cumulata [h]
127.50	203544	0.618	0	0
126.50	141956	0.588	28.36	28.36
125.50	84443	0.548	28.12	56.48
124.50	38332	0.505	24.34	80.82
123.50	9663	0.450	16.68	97.50
122.95	1640	0.120	7.82	105.33
122.70	0	0.000	7.59	112.92



6.3.1.2 Dimensionamento dei collari anti-sifonamento

I collari anti-sifonamento, facendo riferimento alla letteratura tecnica in materia, sono stati predisposti per allungare il percorso di filtrazione del 25% al fine di ridurre le infiltrazioni al contatto rilevato arginale-cassonetto in c.c.a.

I collari sono stati sufficientemente distanziati per consentire le operazioni di compattazione.

Le dimensioni dei collari sono state determinate analizzando la filtrazione secondo il metodo di *Bligh e Lane*.

La verifica è stata condotta secondo il metodo di *Bligh e Lane* il quale considera il percorso che l'acqua dovrebbe fare per portarsi da monte a valle di uno sbarramento, lungo il perimetro della fondazione. Il rapporto tra la lunghezza di questo percorso e il carico d'acqua è indicato come rapporto di scorrimento:

$$C = \frac{L}{\Delta h}$$

dove:

- L è la lunghezza, misurata in metri, della porzione di contorno delle fondazioni dell'opera immerse nel terreno al sottostante, supposto poroso e quale ammasso filtrante; si individua,

pertanto, il percorso critico dell'acqua di filtrazione al di sotto delle fondazioni del rilevato al contatto con il cassonetto in c.c.a. Nella verifica si considera che la resistenza al moto è molto minore lungo il contatto orizzontale, o quasi, tra il manufatto ed il terreno piuttosto che rispetto ai contatti in direzione verticale.

- Δh è il dislivello d'acqua, o differenza di carico piezometrico fra gli estremi del suddetto percorso, ovvero tra il livello idrico massimo che si instaura nel bacino di accumulo ed il piano campagna.
- C è un coefficiente di sicurezza empirico, i cui valori, riportati nella tabella sottostante (raccomandati da Bligh e Lane), sono determinati in funzione delle caratteristiche litologiche e di permeabilità del terreno esistente al di sotto dell'opera.

	C	
Terreno	Bligh (1910)	Lane (1935)
Sabbia molto fine o limo	18.0	8.5
Sabbia fine	-	7
Sabbia media	-	6
Sabbia grossa	12.0	5
Ghiaia fine	-	4
Ghiaia media	-	3.5
Ghiaia e sabbia	9.0	3.5
Ghiaia grossa con ciottoli	5.0	3
Massi con ciottoli e ghiaia	-	2.5
Massi, ghiaia e sabbia	-	-
Argilla molle	-	3
Argilla media	-	2
Argilla compatta	-	1.8
Argilla molto compatta	-	1.6

Valori del coefficiente di scorrimento consigliati da Bligh e Lane

Successivamente Lane migliorò il metodo per tener conto della maggiore resistenza al passaggio dell'acqua dai percorsi verticali L_v rispetto a quelli orizzontali L_h. Secondo Lane la formula pertanto diventa:

$$C = \frac{\frac{1}{3}L_h + L_v}{\Delta h}$$

Lo sviluppo del percorso maggiormente critico è, pertanto, prudenzialmente rappresentato dal contorno dell'opera inserita nel mezzo poroso, il cui sviluppo, adeguatamente pesato nei suoi tratti (1/3 se il contatto è orizzontale o inclinato di un angolo ≤ 45°, 1 se è verticale o inclinato di più di un angolo maggiore di 45°), deve essere multiplo del dislivello idrico tra il livello idrico massimo che si instaura nel bacino di accumulo ed il piano campagna. Tale valore deve, quindi, essere superiore al

coefficiente di scorrimento C, caratteristico della natura litologica del terreno interessato.

In generale può, dunque, scriversi, detti Lv e Lh rispettivamente le somme degli sviluppi verticali ed orizzontali delle fondazioni della traversa:

$$F = \frac{L_v + 1/3 \cdot L_h}{\Delta h} > C$$

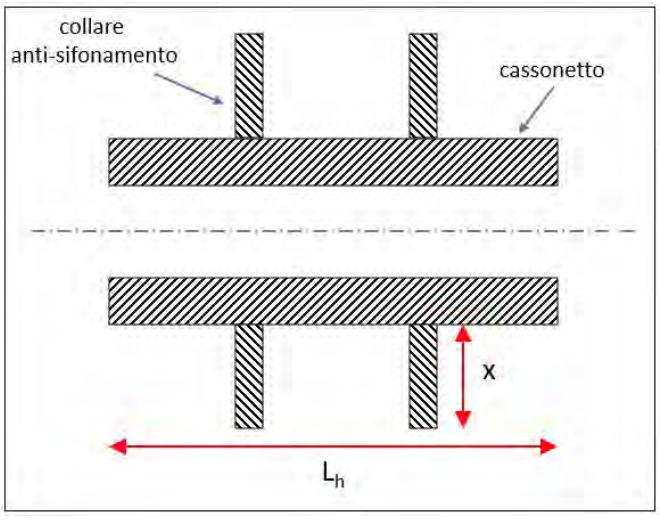
Considerando che i collari anti-sifonamento sono stati predisposti per allungare il percorso di filtrazione del 25% detto N il numero dei collari e x la loro dimensione verticale per allungare il percorso di filtrazione del 25% si ottiene la seguente relazione:

$$2\,x\,N > \frac{L_v}{4}$$

che abbinata all'equazione di Lane fornisce il seguente sistema di equazioni risolutivo del problema di dimensionamento:

$$\begin{cases} L_v = C\,\Delta h - \frac{1}{3} L_h \\ 2\,x\,N > \frac{L_v}{4} \end{cases}$$

dove L_h rappresenta la lunghezza del tratto di condotta inglobata nel cassonetto in c.c.a. e L_v la lunghezza incognita in funzione delle dimensioni e del numero dei collari.



Schema del collare anti-sifonamento

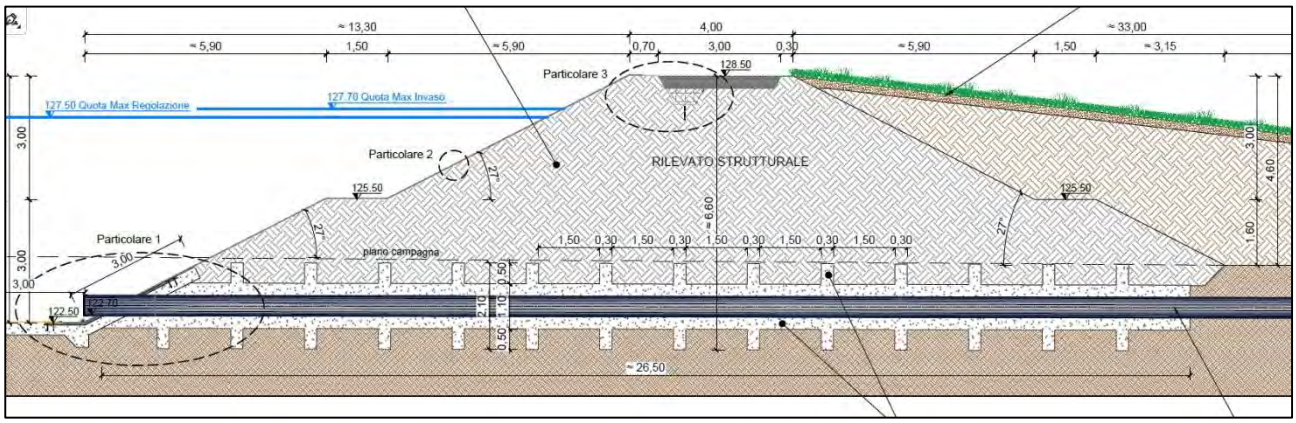
Il coefficiente di scorrimento è stato adottato cautelativamente pari a 4 senza fare riferimento a componenti argillose e/o limose.

La differenza di carico piezometrico fra gli estremi del percorso di filtrazione, è stata valutata

prudenzialmente considerando come livello che si dissipa lungo il cassonetto quello dell'invaso alla quota massima di regolazione pari a 127.50 m s.l.m.m. mentre il livello di valle è pari alla quota della fondazione del cassonetto pari a circa 122.37 m s.l.m.m.

Il carico piezometrico riferito al fondo del bacino di accumulo è pari quindi a circa 5.2 m.

Si ottiene pertanto, prevendendo N=13 collari lungo lo sviluppo del cassonetto pari a 26.5 m, che l'altezza minima *x* del collare è pari a circa 0.46 m con un fattore di sicurezza pari a 4.0. Adottando per motivi costruttivi un valore di *x* pari a 0.50 m il fattore di sicurezza risulta essere 4.20.



6.3.2 Manufatto di scarico di superficie

Lo scarico di superficie dell'invaso è costituito da una soglia libera che immette le acque di sfioro in un canale fugatore. Lo scarico di superficie ha lo scopo fondamentale di evitare che durante una piena particolarmente gravosa si verifichi una tracimazione della sommità arginale dell'invaso. Pertanto lo scaricatore è stato dimensionato per smaltire la portata di piena quando nel serbatoio viene raggiunta la quota di massima regolazione. L'evento di progetto dello sfioratore è legato a due fattori:

- portata massima in ingresso;
- precipitazione di progetto sull'area di invaso.

Nel caso di bacini di accumulo con rilevati in terra, la condizione di sormonto dell'acqua al di sopra del coronamento della struttura è da evitare perché potrebbe provocare il collasso dell'intera struttura stessa. La velocità dell'acqua infatti produce una forza di trascinamento sulla terra che può provocare l'asportazione della stessa, innescando un processo auto-distruttivo. La condizione più gravosa ai fini del dimensionamento dello sfioratore, ovvero quella che produce la massima portata

di progetto in ingresso all'invaso, risulta essere quella caratterizzata da:

- raggiungimento della quota di massima regolazione dell'invaso;
- massimo riempimento del canale di alimentazione.

Lo sfioratore è stato, in tal senso, dimensionato in riferimento a tale piena di progetto, come riportato nella relazione idraulica di progetto definitivo, allegata, rispetto alla quale, i dimensionamenti e le verifiche idrauliche del manufatto non subiscono variazioni.

La soglia sfiorante avrà lunghezza pari a 20 m, sarà raccordata con il piano di coronamento dell'arginatura in terra dell'invaso (gaveta trapezia) ed entrerà in funzione una volta che, durante un evento meteorico, verrà superata la quota di regolazione dell'invaso, per consentire il transito della portata di progetto. Il massimo carico idraulico sopra soglia sarà pari a circa 15 cm, pertanto la quota di massimo invaso supererà di tale valore la quota di massima regolazione. Il franco idraulico di sicurezza sarà, quindi, pari a 85 cm.

A differenza del progetto definitivo, nel quale lo sfioratore era considerato non carrabile, nel presente progetto esecutivo, al fine di dare continuità alla pista di servizo sommitale arginale per una maggiore sicurezza e funzionalità dell'opera, si è provveduto a risvoltare l'intero pacchetto di impermeabilizzazione su tutto il rilevato arginale e a posizionare il geotessuto antipunzonamento anche sulla parte superiore della geomembrana, debitamente protetto da una cappa di cls di circa 10, realizzato in 1° fase, con il successivo posizionamento dei massi lapidei. I massi lapidei saranno posizionati di piatto e non a spigolo vivo, il tutto al fine di garantire l'integrità della guaina sottostante sia durante la posa che al passaggio dei mezzi di sorveglianza.

Si riportano nel seguito alcune immagini dello sfioratore di superficie estratte dagli elaborati grafici di progetto esecutivo:

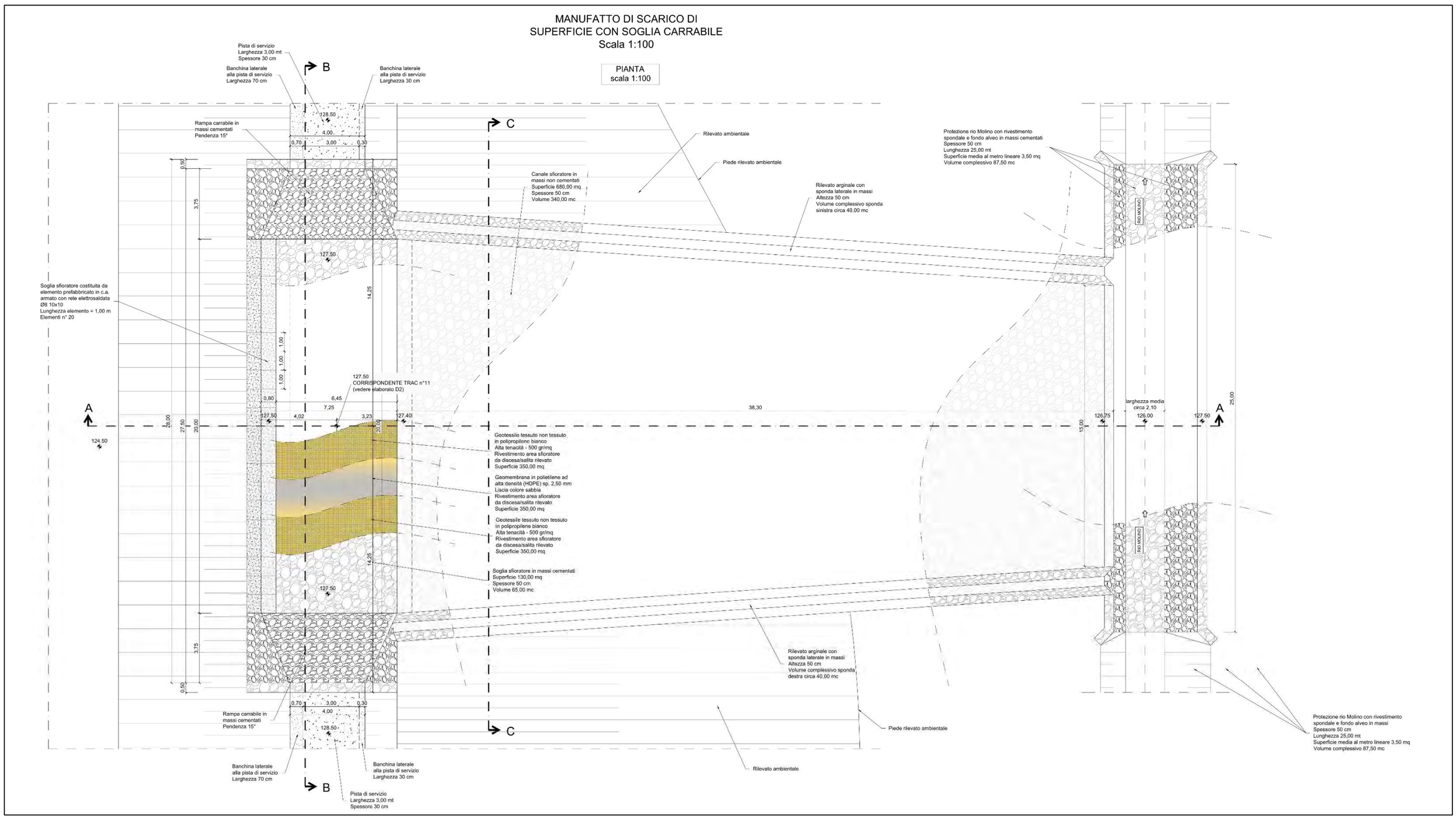


Figura 28 – Manufatto di scarico di superficie – pianta.

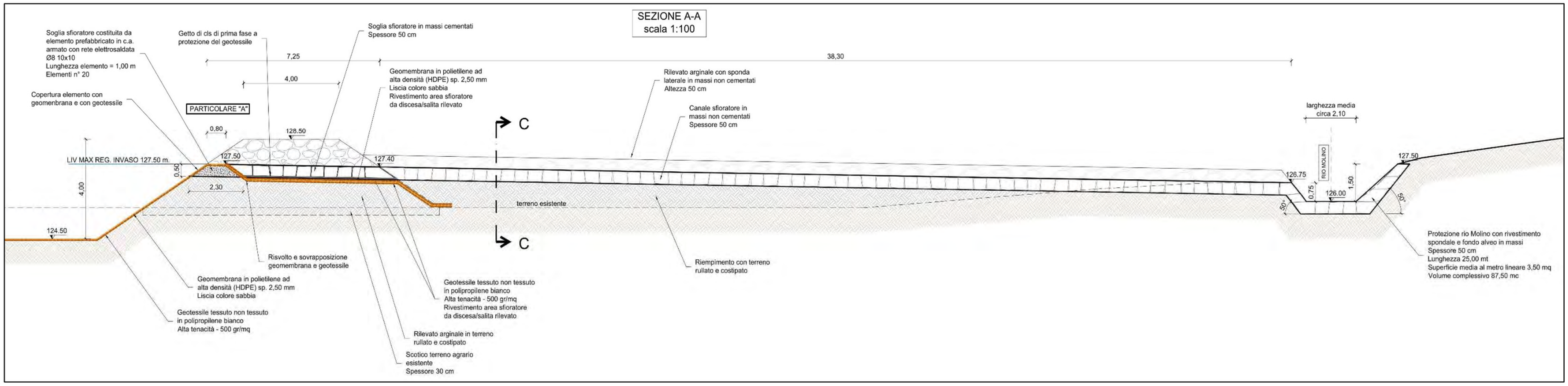


Figura 29 – Manufatto di scarico di superficie – sezione longitudinale.

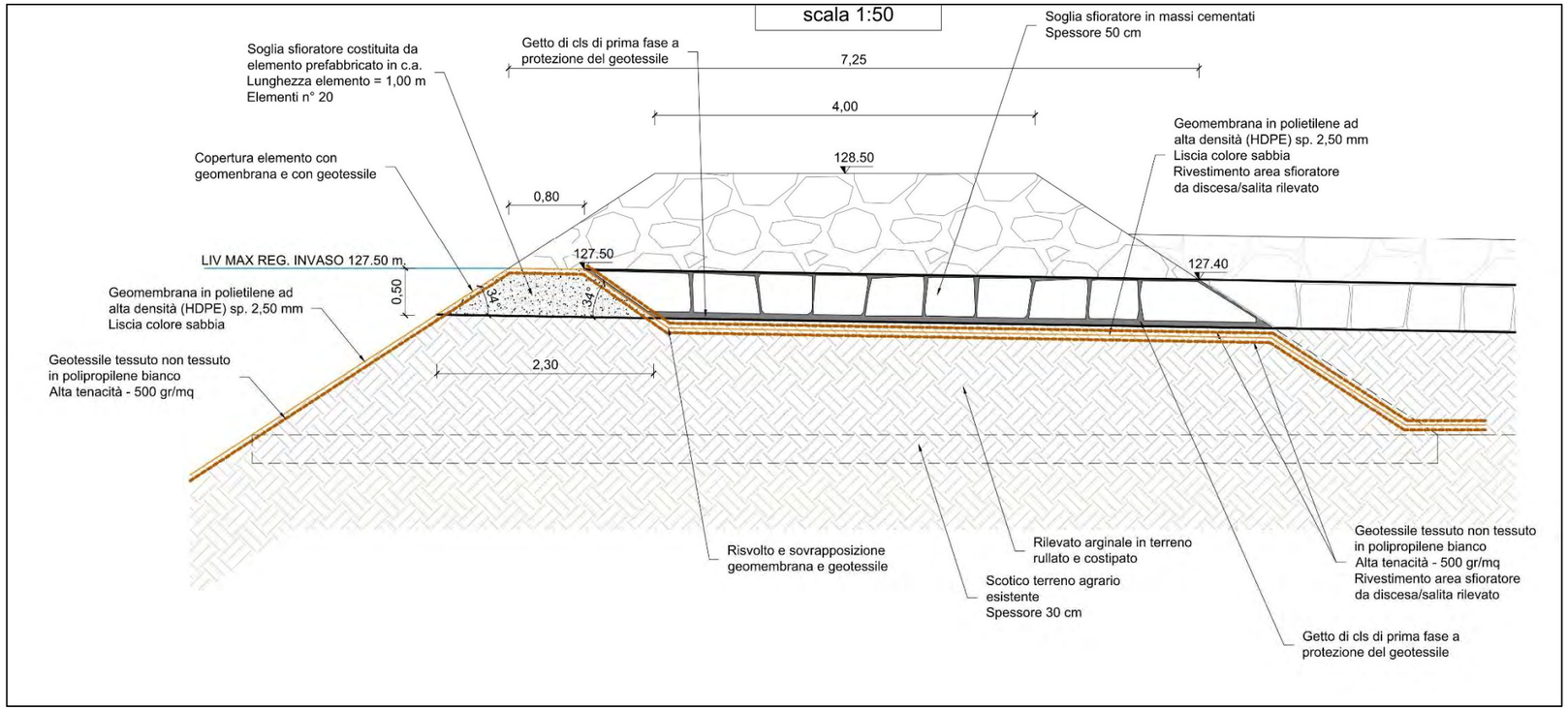


Figura 29.1 – Manufatto di scarico di superficie – sezione perticolare.

6.4 Rete di distribuzione

La rete di distribuzione consente, infine, di utilizzare le acque dell'invaso recapitandole verso la rete di canali consortili che convogliano le acque all'utenza. E', in particolare, costituita da una tubazione di distribuzione che collega lo scarico dell'invaso con la tubazione consortile di recapito, tramite l'immissione in apposita opera di restituzione, progettata per alimentare la rete di distribuzione consortile senza la realizzazione di impianti di sollevamento. Il convogliamento dell'acqua in pressione consente, in tal senso, di ridurre drasticamente le perdite per infiltrazione nel terreno che si avrebbero in presenza di canalizzazioni a cielo aperto.

6.4.1 Tubazione di distribuzione

La tubazione di distribuzione è prevista in PVC De 500 mm PN 10. Il raccordo con la tubazione irrigua esistente a valle dell'invaso avverrà tramite la realizzazione di un pozzetto in c.c.a. prefabbricato avente dimensioni utili interne di cm 120x120.

Si riportano, quindi, nel seguito le sezioni principali del manufatto di raccordo in c.c.a. suddetto tra la tubazione di distribuzione in PVC in progetto e la condotta irrigua in calcestruzzo esistente a valle dell'invaso.

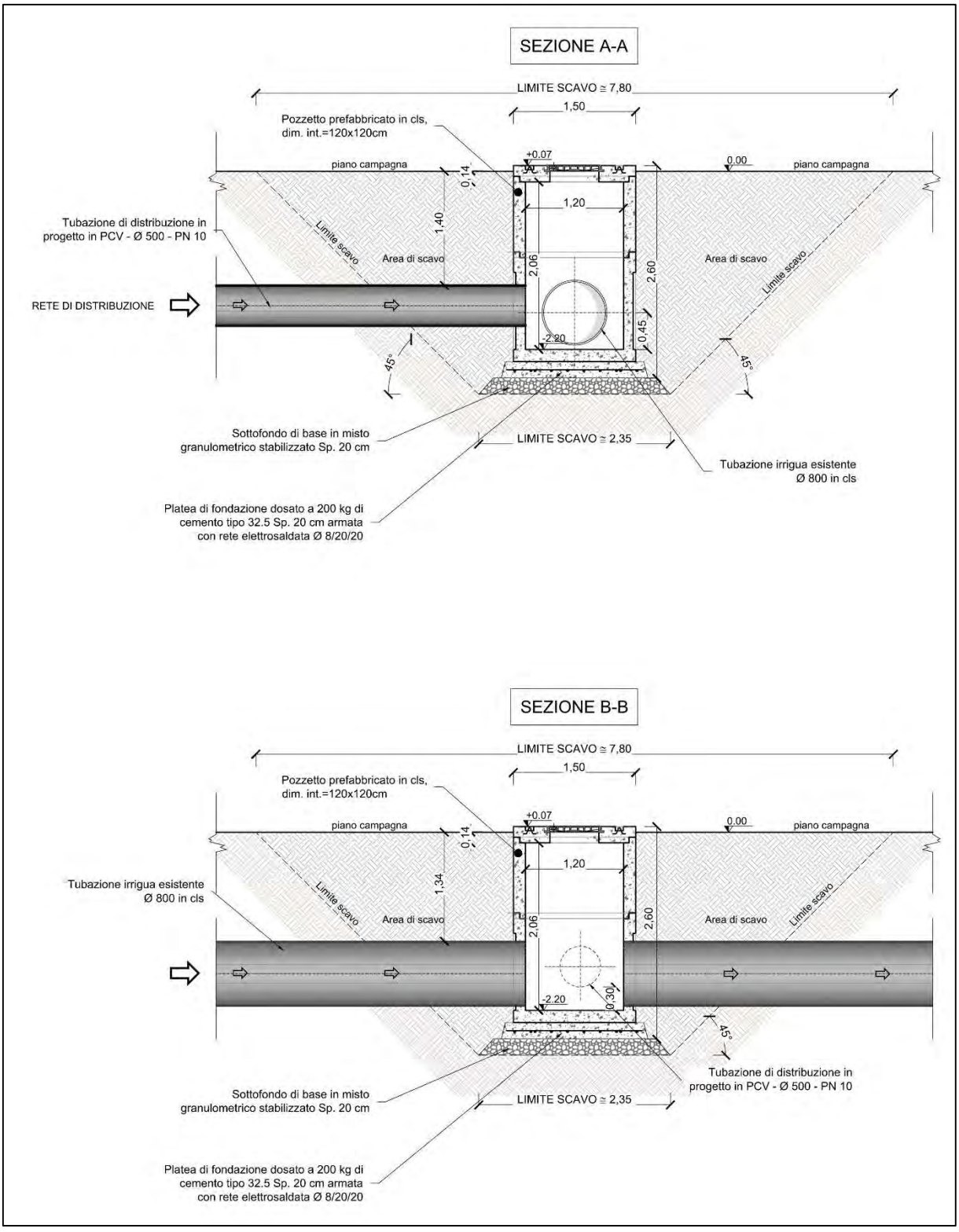


Figura 30 – Manufatto di innesto e raccordo tubazione di distribuzione con condotta irrigua esistente.

6.4.2 Deviazione tubazione Terzuola dei Fiducia

La realizzazione dell'invaso necessita l'asportazione di un tratto della tubazione in PVC Terzuola dei Fiducia, avente diametro pari a 500 mm, per una lunghezza di circa 355 m.

Si prevede, pertanto, la sostituzione di tale tratto mediante la posa di una nuova condotta avente le medesime caratteristiche tecniche e dimensionali e uno sviluppo longitudinale di 536 m. La nuova tubazione manterrà le stesse quote di partenza e restituzione della condotta esistente e correrà esternamente all'opera in progetto lungo il lato ovest dell'invaso con direzione sud-nord.

A valle dell'invaso si prevede la possibilità di alimentare la tubazione Terzuola dei Fiducia con l'acqua invasata nel lago mediante una connessione idraulica realizzata con un giunto a T collegato con il manufatto di scarico.

Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati grafici allegati al progetto esecutivo (*Tavola D14*).

6.5 Opere accessorie e ambientali

A completamento dell'opera irrigua saranno realizzati due tratti di pista ciclabile e la sistemazione ambientale dell'area circostante l'invaso, in particolare il tratto a nord, lungo la strada comunale del Molinazzo in località Lusurasco, comune di Alseno.

6.5.1 Pista ciclabile

Un primo tratto denominato "PISTA CICLABILE EST" localizzata a nord dell'invaso lungo la strada comunale per Lusurasco per una lunghezza di circa 450 m ed un secondo denominato "PISTA CICLABILE OVEST" tratto di circa 210 m posizionata a nord della strada comunale tra il Rio Gerola e il centro abitato di Lusurasco.

Per la realizzazione della pista ciclabile sono state adottate le "Linee guida per il sistema regionale della ciclabilità (L.R. n. 10/2017)" della Regione Emila Romagna, ed in particolare il tipo "Pista ciclabile autonoma bidirezionale – D.M. 577/1999." che prevede per una pista ciclabile in sede propria, fuori dai centri urbani, a doppio senso di marcia con una larghezza di 2,50 m.

Come da prescrizioni del Comune di Alseno lo strato superficiale (spessore 5/6 cm) sarà realizzato con una pavimentazione ecologica drenante ecocompatibile opportunamente pigmentata

con cromie simile a quello delle strade bianche locali (Autorizzazione Paesaggistica n°4/2019) stesa La pavimentazione sarà posata su una fondazione di 10 cm di misto granulare stabilizzato e 20 cm di materiale riciclato arido debitamente costipato per sottofondi rilevati stradali posizionati su un telo di geotessile non tessuto avente massa areica di 300 g/m^2, il tutto debitamente rullato e compattato.

I due tratti di pista ciclabile in progetto saranno predisposti per l'illuminazione consistente cavidotti elettrici diametro 125 mm, pozzetti elettrici, plinti e pali di illuminazione stradale con la sola esclusione dell'armatura stradale d'illuminazione e dei cavi elettrici da realizzarsi da parte del comune di Alseno.

Il tutto come meglio evidenziato negli schemi di seguito riportati e nell'elaborato grafico D15.

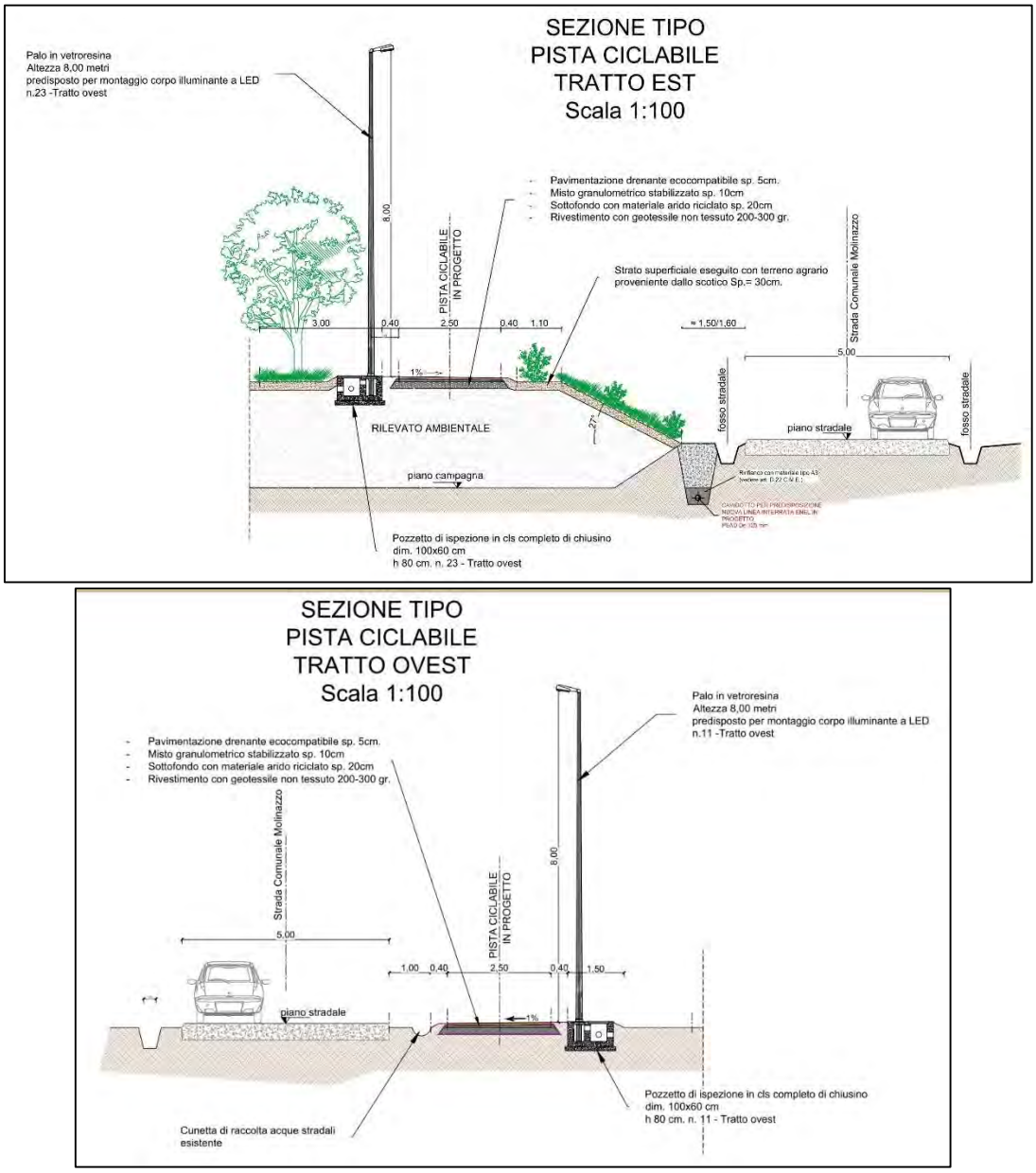
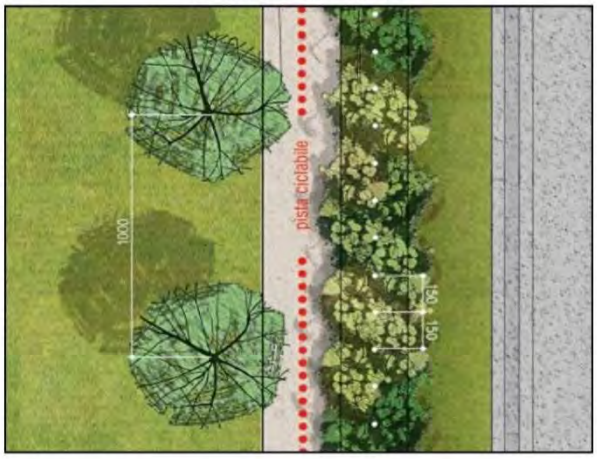


Figura 31 – Sezioni tipo pista ciclabile in progetto.

6.5.2 *Opere a verde*

Gli interventi previsti in progetto comprendono la realizzazione di un filare arbustivo e un filare di Acer Campestre (n. 43 esemplari - MIGLIORIA QUANTITATIVA) sul lato nord dell'invaso lungo la pista ciclabile est e la strada comunale per Lusurasco, la successiva sistemazione a macchia arbustiva di circa 3.300 m^2 nella porzione nord-ovest dell'area oggetto di intervento, oltre naturalmente all'idrosemina delle scarpate esterne dei rilevati arginali dell'invaso, il tutto come meglio evidenziato negli schemi di seguito riportati e nell'elaborato grafico D17.

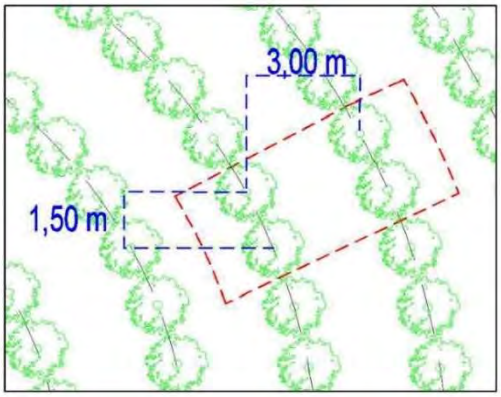
SESTO D'IMPIANTO
DEL FILARE ARBOREO
E DELLA SIEPE ARBUSTIVA
PISTA CICLABILE EST



FILARE ARBOREO	
Acer campestri	n° 43
Sesto d'impianto: 10,00 metri sulla fila per 442 metri di sviluppo lineare	

SIEPE ARBUSTIVA		
SPECIE ARBUSTIVA	PERCENTUALE	NUMERO PIANTE
Spinarea x vanhouttei	50%	141
Weigela florida	50%	142
TOTALE	100%	283
Sesto d'impianto: 1,50 metri sulla fila per 442 metri di sviluppo lineare		

MODULO DI BASE DELLA
MACCHIA ARBUSTIVA



MACCHIA ARBUSTIVA		
SPECIE ARBUSTIVA	PERCENTUALE	NUMERO PIANTE
Sanguinella (Cornus sanguinea)	25%	185
Prugnolo (Prunus spinosa)	25%	185
Corniolo (Cornus mas)	25%	185
Sambuco (Sambucus nigra)	25%	185
TOTALE	100%	740

Figura 32 – Opere a verde oggetto di miglioria.

7 MIGLIORIE TECNICHE E OPERATIVE PROPOSTE IN SEDE DI GARA

L'intervento in progetto rientra nell'ambito del *Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), Missione 2 - Componente 4 - Investimento 4.1 – Investimenti in infrastrutture idriche primarie per la sicurezza dell'approvvigionamento idrico*, in riferimento al quale il Consorzio di bonifica di Piacenza, ottenuto il finanziamento con Decreto MIT n. 517 del 16/12/2021, ha indetto il bando di appalto integrato per il seguente intervento: *Distretto irriguo Arda: rete invasi Caolzio-Molinazzo-Moronasco sottesi alla diga di Mignano.* Codice intervento: M2C4-I4.1-A1-5, CUP: G17B20007720005, Codice Gara: G03804, con termine ultimo di presentazione delle offerte previsto in data 28.02.2023.

Il criterio di aggiudicazione dell'appalto è consistito nell'offerta economicamente più vantaggiosa sulla base dei seguenti elementi e criteri di valutazione:

- offerta tecnica: 90 punti max.
- offerta economica: 10 punti max.
- punti max totale: 100 punti.

L'appaltatore aggiudicatario, costituito dal raggruppamento temporaneo in modalità avvalimento costituito da SOMOTER Srl (impresa partecipante – avvalente) – STECI Srl (studio di progettazione – ausiliaria) ha, in particolare, proposto e previsto le seguenti migliorie tecniche, operative e di gestione del cantiere al progetto definitivo posto a base di gara:

1) **Squadre tipo dedicate all'esecuzione dell'appalto con alta specializzazione**

   Le attività di progettazione esecutiva previste nel presente appalto integrato sono state svolte unendo le sinergie tra STECI S.r.l., società di ingegneria con oltre 50 anni di esperienza nel settore delle opere idrauliche e nelle infrastrutture territoriali a l'impresa SOMOTER S.r.l.. Al fine di gestire al meglio l'esecuzione della presente commessa, in termini di qualità delle opere realizzate e del rispetto delle tempistiche concordate è stato, pertanto, studiata un'organizzazione ad hoc in termini di figure gestionali ed operative coinvolte e di mezzi d'opera impiegati. E' stato, in tal senso, sviluppato un organigramma operativo strutturato in modo da permettere di gestire agevolmente sia la progettazione esecutiva delle opere, sia l'esecuzione delle lavorazioni complesse. Ogni funzione individuata risulta correlata alle altre, creando una **forte sinergia** e un **coordinamento vincente**, grazie alla costituzione di una rete di comunicazione efficace, capace

di far arrivare alle funzioni operative le esigenze manifestate dalle funzioni apicali, in stretto contatto con la SA e, di rimando, di trasmettere ai vertici un riscontro immediato su quanto avviene sul campo, comprese le eventuali criticità riscontrate, che potranno così trovare immediata risoluzione. Le piattaforme di gestione e comunicazione individuate permetteranno un'immediata interconnessione di tutti gli attori in campo, compresa la SA e la DL, con l'obiettivo di assicurare un **allineamento costante** in merito all'avanzamento delle attività progettuali ed esecutive. La struttura presenta, all'apice, un **Project Manager** che con la sua vasta esperienza sarà in grado di gestire l'intera commessa e rappresenterà l'interfaccia della SA per le tematiche di natura amministrativa e gestionale. Il **Direttore tecnico di Cantiere** avrà la responsabilità sull'operatività dell'appalto mentre gli **Assistenti Tecnici** di cantiere coadiuveranno il DTC nello svolgimento delle sue attività, con una presenza giornaliera nelle aree di lavoro. Lo staff gestionale-operativo sarà supportato, per tutta la durata dell'appalto, dalle figure presenti nell'**ufficio tecnico**, elencate in organigramma, e dai responsabili in materia di **sicurezza, ambiente, DNSH e qualità**. L'attività progettuale ed esecutiva è stata e sarà, inoltre, coadivuata da figure dedicate allo svolgimento di **attività specialistiche** quali**:** agronomo, topografo e di una ditta specializzata in bonifiche belliche. La collaborazione tra i tecnici dell'impresa ed i progettisti sarà continua anche in fase di esecuzione delle opere e sarà volta all'ottimizzazione di tutti gli aspetti progettuali anche nell'ottica di una più agevole cantierizzazione. Le risorse umane dedicate alle attività amministrative, tecniche ed operative hanno maturato anni di esperienza nella realizzazione di opere analoghe a quelle previste nel presente appalto e sono tutte formate e costantemente aggiornate relativamente alle attività che sono chiamate a svolgere.

Per maggiori dettagli si rimanda all'offerta tecnica di gara – ***Criterio 1.1 - Squadre tipo dedicate all'esecuzione dell'appalto*.**

2) **Direttore di cantiere e relative esperienze in lavorazioni eseguite analoghe all'appalto in oggetto**

Il Direttore tecnico di cantiere che seguirà la commessa vanta esperienza professionale pluriennale nell'attività manageriale legata all'esecuzione di lavori pubblici e privati, sia dal punto di vista operativo/organizzativo (Direzione Tecnica di Cantiere), sia dal punto di vista gestionale/ amministrativo (Direzione Tecnica Aziendale) e rappresenterà il collegamento tra la Stazione

Appaltante e il Team di Commessa, che coordina con esperienza e passione. Sarà, quindi, responsabile dei seguenti aspetti esecutivi:

- gestione della commessa (aspetti tecnici, economici e temporali) in conformità al budget/programma lavori definito;
- analisi della documentazione di progetto per l'ottimizzazione dei costi, rapporti con la Direzione Lavori e la Committenza per la stesura degli stati d'avanzamento lavori, le richieste di subappalto e tutte le comunicazioni ufficiali;
- supporto all'ufficio acquisti per l'analisi di mercato e la scelta dei fornitori e subappaltatori e per la redazione dei contratti di fornitura e subappalto.

Per maggiori dettagli si rimanda all'offerta tecnica – ***Criterio 1.2 – CV Direttore di cantiere***.

3) Riduzione dell'impatto ambientale

Le opere previste a progetto, in conformità a quanto ai dettami del PNRR, rispettano i **principi cardine del DNSH** (*Do No Significant Harm)* i quali prevedono che gli interventi non arrechino nessun danno significativo all'ambiente. In particolare, tutte le scelte operative saranno volte a tutelare i **6 obiettivi climatici ed ambientali**, previsti dal DNSH e di seguito elencati:

a) mitigazione dei cambiamenti climatici;
b) adattamento ai cambiamenti climatici;
c) uso sostenibile e protezione delle acque e risorse marine;
d) transizione verso un'economia circolare;
e) prevenzione e riduzione dell'inquinamento;
f) protezione e ripristino della biodiversità/ecosistemi.

In questo modo, anche il cantiere necessario alla realizzazione dell'opera dovrà sottostare agli obiettivi di sostenibilità e circolarità sempre crescenti. Proprio l'organigramma operativo prevede l'importante figura del Responsabile DNSH e CAM (*vedi Organigramma Criterio 1.1*), il quale sarà sempre in grado di valutare le opportune azioni da intraprendere nel corso dei lavori.

Si descrivono sinteticamente nel seguito le modalità operative individuate al fine di garantire la salvaguardia degli obiettivi climatici ed ambientali rimandando all'offerta tecnica di gara – *Criterio 1.3 – Riduzione dell'impatto ambientale*, per maggiori dettagli.

a) Mitigazione dei cambiamenti climatici: in pieno accordo etico al rispetto del primo principio

del DNSH connesso alla mitigazione dei cambiamenti climatici e la significativa riduzione di emissioni di gas ad effetto serra (GHG), saranno adottati i seguenti accorgimenti pratici, volti a ridurre le emissioni in atmosfera:

- Mezzi d'opera e attrezzature a bassa emissione: saranno utilizzati mezzi Euro 6, mezzi d'opera Stage V o Tier 4, sistema di trasporto condiviso ed ecologico.
- Officina mobile: all'occorrenza sarà garantita la presenza in cantiere di un'officina mobile al fine di garantire la manutenzione ottimale in loco dei mezzi coinvolti nel processo produttivo. In questo modo sarà possibile monitorare il consumo di ciascuna macchina e far emergere tempestivamente le eventuali anomalie permettendo, quindi, di eseguire una manutenzione rapida, una riduzione dei consumi e un abbattimento delle emissioni.
- Monitoraggio GPS: i mezzi impiegati sono dotati di sistema satellitare GPS per il controllo e la precisione delle lavorazioni e per la relativa geolocalizzazione in tempo reale.
- Sistemi di pesatura**:** i mezzi operativi di cantiere sono dotati di un sistema di pesatura che permette di controllare il carico movimentato, riducendone i costi di trasporto e aumentando quindi la produttività.
- Lampade a basso consumo: qualora le condizioni meteorologiche rendessero necessario l'impiego di illuminazione ausiliaria alle operazioni, si utilizzeranno lampade LED a ridotto consumo di energia.
- Approvvigionamenti sostenibili**:** gli approvvigionamenti dei materiali saranno effettuati da fornitori selezionati, in grado di garantire l'impiego di mezzi con alimentazione a gas naturale. In questo modo si riusciranno a sostenere elevate performance di autonomia in termini logistici a fronte di una riduzione delle emissioni di biossido di azoto (NO2).
- Carburanti ad alte prestazioni e basse emissioni**:** durante i lavori si impiegheranno carburanti ecologici ad elevato tenore di biodegradabilità e di riduzione delle emissioni per alimentare le attrezzature di cantiere. Verrà, in particolare, utilizzato HVO - Diesel (Hydrotreated Vegetable Oil), conforme alla norma europea EN 15940.
- Generatori di corrente green**:** per ciò che concerne la produzione di corrente in cantiere, si prevede l'impiego di generatori di corrente di ultima generazione.
- Fornitura di elettricità prodotta da rinnovabili: l'approvvigionamento elettrico del cantiere

verrà effettuato mediante forniture elettriche interamente prodotte da fonti rinnovabili; tale energia "verde" sarà dotata di certificazioni di Origine.

b) Adattamento ai cambiamenti climatici: durante i lavori verrà effettuata una valutazione relativamente agli effetti del clima attuale e futuro nel contesto, sia a livello antropico che naturale, in merito alla quale sarà prodotto un Report di analisi di adattabilità.

c) Uso sostenibile e protezione delle acque: la proposta migliorativa prevede misure di gestione del cantiere volte a tutelare la risorsa idrica, che saranno applicate ogni qualvolta le condizioni logistiche lo consentano, come di seguito esposte:

- Impianti di depurazione delle acque di prima pioggia dalle superfici scolanti impermeabili soggette ad inquinamento, come ad esempio le aree dove vengono effettuate le operazioni di scavo, carico/ scarico e taglio di materiali.
- Interventi atti a garantire un corretto deflusso delle acque superficiali dalle superfici impermeabilizzate anche in caso di eventi meteorologici eccezionali e, nel caso in cui le acque dilavate siano potenzialmente inquinate, saranno adottati sistemi di depurazione.
- Per tutta la durata dei lavori non si andranno ad intaccare in alcun modo il torrente e i canali limitrofi al cantiere.
- Gestione delle acque di cantiere: le aree di cantiere, ove possibile, saranno delimitate da cordoli per evitare la fuoriuscita delle acque di precipitazione al di fuori del perimetro delle stesse. Questi cordoli consentiranno di convogliare le acque verso idonee vasche per la sospensione e per la disoleazione. La gestione del cantiere prevede la riduzione del consumo di acqua potabile, prevedendo il riutilizzo delle acque meteoriche raccolte per finalità non potabili.
- Cisterna di ritenzione: si propone l'installazione di una cisterna di ritenzione dell'acqua piovana per ottimizzare la gestione idrica, costituita da un serbatoio sotterraneo, prodotto a seguito di un processo di stampaggio a iniezione e compressione. L'acqua così ritenuta potrà essere impiegata all'interno dell'area di cantiere per differenti utilizzi (impiego per le acque di processo della centrale di trattamento dell'aria degli uffici di cantiere, lavaggio dei mezzi in uscita dai cantiere, bagnatura delle piste di cantiere e/o dei cumuli del materiale di scavo, reimpiego negli scarichi dei wc di cantiere, ecc.).

d) Economia circolare:

- Gestione delle terre e rocce da scavo come sottoprodotto. In conformità a quanto richiesto dalla "*Relazione di verifica del rispetto del DNSH*" di progetto definitivo, verranno attuate le azioni necessarie per gestire le terre e rocce da scavo in qualità di sottoprodotto. A tal proposito, in fase esecutiva dei lavori, verrà eseguita idonea caratterizzazione, integrativa rispetto a quella effettuata in fase definitiva, la quale accerterà la presenza di terreno di riporto di cui al D.P.R. 120/2017, oltre alla verifica di conformità alle CSC di cui alla Tabella 1 Colonna A/B, Allegato V, Parte IV, Titolo V del D.Lgs. 152/2006 sulla base della destinazione urbanistica del sito; il terreno verrà, quindi, sottoposto a test di cessione ai sensi del D.M. 05.02.1998 e s.m.i. A seguito di esito positivo di conformità del terreno alle CSC, si trasmetterà agli Enti di competenza la dichiarazione di riutilizzo delle terre e rocce da scavo, come previsto dal D.Lgs. 152/2006. All'occorrenza potrà, inoltre, essere utilizzato apposito frantoio e vaglio mobile, per poter eseguire le lavorazioni di recupero direttamente in situ.
- Sulla base delle risultanze analitiche i rifiuti saranno avviati ad idonei siti di recupero e/o smaltimento autorizzati; trasportati a seconda della rispettiva categoria di appartenenza; gestiti logisticamente secondo appositi formulari di identificazione del rifiuti, redatti e compilati secondo normativa; redatto apposito registro di carico e scarico, conservato presso il cantiere.
- Per quanto riguarda sia l'approvvigionamento del materiale che il conferimento del terreno non oggetto di riutilizzo in cantiere, così come già riportato ai successivi *paragrafi 11.1 e 13.2*, si evidenzia che sono stati presi accordi con cave e depositi locali con siti che si trovano a non più di 15 km dall'area di lavoro. La vicinanza dei siti permetterà di ridurre al minimo le emissioni, i consumi dei trasporti e le interferenze con la viabilità esterna esistente.

Il tutto come riportato nella seguente tabella:

Sito	Nome	Distanza km	Volume materiale di nuovo apporto per rilevati [m^3]	Volume materiale in esubero da ricevere [m^3]	Volume materiale disponibilità al conferimento [m^3]
A	**UBICAZIONE CANTIERE**				
B	**CAVA NUOVA GPL Srl**	15	Circa 8.155		
C	**"Malpodata – sub ambito B" SITO PRINCIPALE**	15		Circa 8.300	100.000
D	**"San Bernardino" EVENTUALE SITO SECONDARIO**	15		Circa 8.300	80.000

Tabella 4 – Riepilogo gestione materiali di nuovo apporto e in esubero.

- Piano di gestione dei rifiuti: l'impresa esecutrice condivide pienamente i principi dell'economia circolare volti a riciclare o portare a recupero tutto il materiale derivante dalle lavorazioni (100%). Sebbene da progetto non sia prevista una produzione significativa di rifiuti durante il cantiere, ove fattibile, saranno reimpiegati direttamente in situ, in accordo con la committenza o recuperandoli presso gli appositi impianti. Si conferma l'impegno a recuperare, riutilizzare o riciclare circa il 70% dei rifiuti non pericolosi, derivanti dalle lavorazioni di cantiere.
- Prodotti chimici: saranno, infine, ridotte allo stretto necessario le esigenze di impiego in cantiere di prodotti chimici, ottimizzandone l'approvvigionamento e preferendo quelli con caratteristiche di eco-compatibilità.

e) Prevenzione e riduzione dell'inquinamento: durante i lavori saranno adottate le seguenti misure operative, gestionali ed accorgimenti tecnici:

- il personale di cantiere osserverà le più accurate misure di contenimento degli impatti del cantiere sulle aree circostanti, limitando le interferenze. Si avrà, inoltre, cura di compartimentare le aree di lavoro tramite idonee schermature e ridurre la dispersione di polveri e rumori nelle zone limitrofe al cantiere attivo. Tutti gli operatori avranno a disposizione idonei DPI. Ci si affiderà ad un'impresa specializzata per sanificare periodicamente i locali di cantiere, gli ambienti comuni, le autovetture, le attrezzature e i mezzi d'opera.
- Mitigazione della propagazione delle polveri: l'abbattimento delle polveri parte da un'attenta gestione operativa che mirerà a ridurre al minimo la percorrenza dei nostri mezzi e di quelli dei fornitori, oltre a definire pratiche per il contenimento delle polveri.

- nebulizzatori: come primo accorgimento per controllare l'emissione di polveri, si propone l'impiego di nebulizzatori ad acqua, tipo Dustfighters, con approvvigionamento da serbatoio, ove strettamente necessario al fine di evitare sprechi eccessivi di acque. L'operazione sarà utilizzata per effettuare bagnature in grado di trattenere le particelle aerodisperdibili e favorire il loro mantenimento al suolo durante le operazioni di scavo. La quantità di acqua utilizzata sarà minima e non darà luogo a dilavamento superficiale delle acque in esubero in quanto completamente assorbita dal materiale e dalle polveri presenti. Per le operazioni di nebulizzazione/bagnatura verrà impiegata acqua conforme ai limiti di emissione degli scarichi idrici secondo il D.Lgs. 152/2006, parte terza, All.5, tabella 3;
- umidificazione del cantiere: si eseguiranno umidificazioni della superficie dei cumuli di materiale polverulento e delle aree di cantiere, in particolare in corrispondenza di periodi di secca e di condizioni anemometriche sostenute. In caso di temperature rigide e di impossibilità di procedere alla bagnatura, si intraprenderanno tutte le possibili precauzioni al fine di minimizzare l'emissione di polveri;
- biosoyl: si bagneranno le aree di cantiere in cui vi sarà una maggiore concentrazione di scavi mediante Biosoyl Plus, legante antipolvere a base di blend di resine organiche, formulato per il controllo delle polveri a medio e lungo termine. Grazie alle particolari proprietà leganti della resina, il prodotto riesce a penetrare nella superficie naturale, legando tra loro le particelle del terreno e andando a formare uno strato consolidato privo di polvere resistente ai carichi e alle piogge;
- spazzatrici e lavaggio mezzi: si avrà cura di effettuare un costante e periodico lavaggio della viabilità limitrofa al cantiere con spazzatrici stradali di proprietà dell'impresa esecutrice. Inoltre verranno pulite attentamente le ruote dei veicoli in uscita dall'area di cantiere affinché i mezzi non disperdano materiale polverulento nella viabilità ordinaria;
- velocità limitata: si attuerà una limitazione della velocità dei mezzi sulle strade di cantiere non asfaltate, circa di 10 km/h all'interno dell'area di cantiere e di 30 km/h sulla viabilità limitrofa all'area di cantiere;
- mezzi telonati: l'allontanamento dei materiali in esubero dal cantiere avverrà per mezzo di autocarri muniti di telone per coprire il cassone, in maniera da confinare le polveri;

- teli antipolvere: verranno installati a ridosso delle recinzioni di cantiere teli antipolvere in maniera da confinare la propagazione di materiale polverulento in atmosfera. Il contenimento sarà garantito dalla filtrazione delle particelle più grossolane e dalla locale riduzione della velocità del vento.
- ulteriori accorgimenti: tutte le risorse operative saranno correttamente informate in merito ad una corretta procedura di lavoro volta alla riduzione delle propagazioni di materiale polverulento in atmosfera.
- Mitigazione dell'impatto acustico del cantiere con particolare riferimento all'inquinamento sonoro prodotto direttamente ed indirettamente dal cantiere mediante i seguenti accorgimenti tecnico-operativi:
- box acustici: per compartimentare quanto più possibile l'inquinamento acustico, si effettueranno le operazioni più rumorose all'interno di appositi box isolati acusticamente e localizzati all'interno dell'area di cantiere;
- teli acustici: verranno posizionati a ridosso delle delimitazioni di cantiere teli acustici tipo Bulfeu con un potere fonoisolante R_w = 14 dB;
- mezzi e attrezzature silenziate: verrà sempre privilegiata, compatibilmente con le lavorazioni operative, l'impiego di strumentazione con ridotta emissione acustica e comunque di recente fabbricazione.
- Monitoraggio delle componenti ambientali: al fine di verificare attivamente l'efficacia delle misure mitigative sarà effettuato un monitoraggio ambientale dei seguenti parametri:
- acustici: l'analisi della componente rumore verrà eseguita mediante attività strumentali di rilevamento dei dati in campo e di elaborazione statistica degli stessi. Il rilevamento potrà essere svolto sia *ante operam*, con lo scopo di definire e caratterizzare il livello del clima acustico prima dell'inizio dei lavori (situazione di bianco), sia *in corso d'opera*, con la finalità di eseguire l'evoluzione qualitativa della componente durante la realizzazione dell'opera;
- polveri: parallelamente si effettuerà un monitoraggio delle polveri emesse in atmosfera mediante l'installazione di una stazione tipo PMx che rileva la concentrazione di PM 10, 2.5, 1.
- Tutela del suolo e sottosuolo: saranno anzitutto ridotte allo stretto necessario le esigenze di utilizzo e stoccaggio in cantiere di prodotti chimici, privilegiando nell'approvvigionamento le

caratteristiche di ecocompatibilità; materiali quali adesivi e vernici, saranno custoditi in locale isolato e areato in area dedicata di cantiere con le opportune segnalazioni oppure mantenuti in maniera corretta sul cassone del furgone di cantiere.

- Protezione del suolo: per ciò che concerne le aree destinate allo stoccaggio dei rifiuti e dei materiali pericolosi, si provvederà alla separazione del materiale in esubero dal terreno per mezzo di un telo in HDPE con superficie impermeabile. Questo elemento di separazione sarà dotato di idonea pendenza, tale da convogliare gli eventuali liquidi in apposite canalette e pozzetti di raccolta e tenuta. Allo stesso modo, saranno impermeabilizzate le aree interessate dalla movimentazione e dal lavaggio dei mezzi in uscita dal cantiere. Tali accorgimenti garantiranno la salvaguardia delle acque di falda e faciliteranno il contenimento di possibili sversamenti. Si effettueranno, quindi, costanti controlli delle aree per verificare l'effettiva efficacia delle misure protettive.
- Salvaguardia del suolo: potranno essere eventualmente adottati i seguenti accorgimenti tali da tutelare e salvaguardare la risorsa naturale del suolo:
- kit ambientali**:** al fine di preservare il suolo da eventuali sversamenti di sostanze liquide e nocive durante la movimentazione delle stesse nelle fasi di cantiere, i preposti di cantiere si attiveranno in maniera tale da scongiurare la percolazione di oli e carburanti, mediante l'utilizzo di appositi kit ambientali, in grado di contenere, rimuovere e smaltire gli sversamenti accidentali;
- vasche stagne: si tuteleranno il terreno e la falda da eventuali contaminazioni, anche mediante l'utilizzo di vasche stagne costituite da elementi di raccolta in polietilene per la collocazione delle cisterne di gasolio e dei contenitori di liquidi inquinanti, che verranno successivamente riversati in appositi contenitori per il trasporto e il corretto smaltimento;
- oli green: si propone l'utilizzo di oli lubrificanti ecologici rapidamente biodegradabili (*Environmentally Considerate Lubrificants*), evoluti dal punto di vista tecnico. Questi prodotti garantiscono un maggiore livello di salvaguardia degli impatti ambientali derivanti dal cantiere, innalzando il livello di protezione del suolo e del sottosuolo.

f) Protezione e ripristino della biodiversità e degli ecosistemi: durante le lavorazioni si garantirà sempre la positività del bilancio complessivo degli effetti ambientali prodotti dalla realizzazione dell'intervento mediante:

- protezione della biodiversità faunistica;
- compensazione ambientale.

Per maggiori dettagli si rimanda all'offerta tecnica di gara – ***Criterio 1.3 – Riduzione dell'impatto ambientale.***

4) Miglioramento del sistema di impermeabilizzazione dell'invaso

Il progetto esecutivo è stato integrato con le migliorie tecniche proposte in sede di gara relative al sistema di impermeabilizzazione dell'invaso, per le quali si rimanda a quanto già dettagliatamente riportato e descritto al *paragrafo 6.2.3* della presente relazione.

Per maggiori dettagli si rimanda anche a quanto riportato nell'offerta tecnica di gara – ***Criterio 1.4 – Miglioramento della guaina impermeabile.***

5) Proposta migliorativa del cantiere di lavoro

Il progetto esecutivo è stato integrato con le migliorie tecniche proposte in sede di gara relative alla gestione operativa del cantiere e delle lavorazioni, per le quali si rimanda a quanto dettagliatamente riportato e descritto al successivo *capitolo 14* della presente relazione.

Per maggiori dettagli si rimanda anche a quanto riportato nell'offerta tecnica di gara – ***Criterio 1.5 – Proposta migliorativa del cantiere di lavoro.***

8 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Durante la fase di progettazione definitiva è stata svolta una campagna geognostica al fine di caratterizzare il terreno presente in sito, la quale ha previsto l'esecuzione sia di prove in sito sia di laboratorio, in particolare sono stati eseguiti:

- n. 4 sondaggi a carotaggio continuo fino a 10 m di profondità;
- n. 2 prove penetrometriche dinamiche DPSH;
- n. 1 prova penetrometrica statica CPT;
- n. 4 prove di permeabilità Lefranc a diverse profondità all'interno dei fori di sondaggio;
- n. 1 campione indisturbato prelevato a profondità -2,50 – 3,20 m da p.c. prelevato dal sondaggio S1;
- Prova MASW per determinare i parametri sismici del sito;
- n. 3 campioni rimaneggiati S1CR1 (0-1 m da p.c.), S2CR1 (1-2 m da p.c.), S3CR1 (1-2 m da p.c.) e S4CR1 (0-1 m da p.c.);
- realizzazione di n. 2 piezometri di controllo del livello piezometrico di falda.

In particolare in laboratorio sono state effettuate:

- sul campione indisturbato S1CI1:
  - classificazione granulometrica, limiti e classificazione ISO UNI 11531/2013;
  - n.1 prova edometrica con misura della permeabilità;
  - n.1 prova di taglio con scatola di Casagrande;
  - n.1 prova ELL;
- sui campioni rimaneggiati S1CR1; S2CR1; S3CR1; S4CR1:
  - classificazione granulometrica, limiti e classificazione ISO UNI 11531/2013;
  - prova di taglio con scatola di Casagrande;
  - prova ELL;
  - prova Proctor standard;
  - prova CBR.

Le suddette prove sono state ritenute esaustive anche al fine della progettazione esecutiva in base ai rilievi svoli in sito.

L'ubicazione dei sondaggi è riportata nelle figure seguenti.



Figura 33 – Ubicazione sondaggi.



Figura 34 – Ubicazione prove penetrometriche.

Le informazioni di dettaglio relative alla campagna geognostica sono riportate nell'elaborato *Relazione geologica* a corredo degli elaborati progettuali del Progetto definitivo alla quale si fa riferimento e si rimanda.

Dalle analisi emerge che l'areale indagato è caratterizzato da una differenza litologica tra il settore Sud (sondaggio S1 e S2 prova penetrometrica CPT1) e quello Nord (sondaggio S3 e S4 e prove DPSH1 e DPSH2). Dalle risultanze dei vari sondaggi geognostici eseguiti all'interno dell'area in oggetto, emerge il seguente modello geologico di sito, in accordo con le sezioni litologiche che attraversano il sito stesso. Nel settore sud si ha una coltre superficiale limosa, limosa sabbiosa - ORIZZONTE A, fino a profondità di circa 4.70÷5.30 m; per poi passare in profondità ad un orizzonte argilloso limoso ORIZZONTE B, sino alle massime profondità indagate (10.0 m). Nel settore sud-ovest (in corrispondenza di S2), sono stati rinvenuti interstrati ghiaiosi alterati con spessori variabili ORIZZONTE C, a profondità da 1.80 m circa fino a circa 5.30 m. Nel settore nord si ha una litologia ghiaiosa prevalente in matrice limosa sabbiosa ORIZZONTE C, fino alle massime profondità indagate (10.0 m). Nel settore nord-ovest (in corrispondenza di S3), è stato rinvenuto un orizzonte argillosa da 8.40 m fino alle massime profondità ORIZZONTE B.

Le prove penetrometriche confermano tale assetto litologico con presenza nel settore nord di una litologia ghiaiosa in prevalente matrice limosa sabbiosa.

Durante la campagna di indagini è stato, inoltre, misurato il livello massimo di falda che si attesta intorno ai – 4 m da p.c. nella parte più superficiale variabile comunque in funzione della litologia.

Durante la fase progettuale, per evitare eventuali fenomeni di uplift legati alle sottopressioni dell'acqua e alla variabilità della soggiacenza della falda, si è deciso di scavare mantenendo un franco di sicurezza rispetto alla quota di falda di almeno 2 m. Per raggiungere la capacità utile dell'invaso di 203.000 m^3, quindi il bacino di accumulo verrà realizzato in parte in scavo e in parte in rilevato.

Il rilevato verrà realizzato reimpiegando il terreno derivante dalle operazioni di scavo al quale verrà aggiunto almeno un quantitativo pari al 10% di terreno prelevato da cava classificato secondo le norme UNI 11531/2013 come A6. I campioni analizzati in laboratorio hanno attestato la presenza in sito in parte di materiale classificato come A6 e in parte come A7-6 (norma UNI 11531/2013) con un indice di plasticità mai superiore a 30. Si, quindi, è deciso di riutilizzare il materiale presente in

sito, ritenuto idoneo da un punto di vista meccanico, purché miscelato con una percentuale di materiale A6 portato da una cava di prestito al fine di renderlo più lavorabile in fase esecutiva.

Il terreno in eccesso derivante dalle operazioni di scavo sarà smaltito in discarica secondo quanto previsto nei pertinenti aggiornamenti al Piano di gestione delle terre e rocce da scavo aggiornato in tale fase progettuale.

Si riportano nel seguito i risultati riguardanti le analisi di laboratorio, condotte sia su campioni indisturbati che rimaneggiati. Sui campioni rimaneggiati, sono state eseguite le prove per ricavare i parametri fisico-meccanici necessari a definire le caratteristiche dei rilevati arginali.

Campione rimaneggiato	profondità prelievo mda p.c.	CT	k (m/s)	c' (daN/cmq)	Φ'	Cu (N/cmq)	ϒ (kN/mc)	$ϒ_d$ (kN/mc)	Densità secca Max AASHTO Std. (daN/dm^3)	w_{opt} AASHTO Std %	CBR AASHTO Std. %
S1CR1	0-1	A6	1.2E-09	0.15	30	7.6	20	17.3	1.76	13.9	8.8
S2CR1	1─2	A7-6	2.5E-10	0.24	25.1	8.9	19.2	15.6	1.65	19.4	5.1
S3CR1	1─2	A6	1.6E-09	0.14	31	7.2	20	17.4	1.78	13.2	9.7
S4CR1	0-1	A7-6	2.8E-10	–	–	9.4	19	15.6	1.66	19.1	5.7
Campione indisturbato											
S1CI1	2,5─3,2	A7-6	4.2E-10	0.18	27.8	9.1	20	16	─	─	─

Tabella 5 – Riepilogo risultati analisi di laboratorio.

I parametri geomeccanici del terreno utilizzati nelle verifiche del rilevato arginale in progetto sono, quindi, sintetizzati nella seguente tabella

	Argine/Ringrosso	Cassonetto	Fondazione
Peso secco [kN/m^3]	17	17	20
Peso saturo [kN/m^3]	19	19	22
C_u [kPa]	40	0.9	---
φ [°]	27	27	31
C' [kPa]	3	0	0

Tabella 6 - Riepilogo parametri geotecnici di riferimento del terreno per la modellazione del rilevato arginale.

Ai fini invece, del dimensionamento strutturale e geotecnico manufatto di alimentazione, saranno considerati i parametri geotecnici desumibili dal sondaggio limitrofo "S1" e dalle relative prove di laboratorio. Saranno, pertanto, utilizzati i parametri geomeccanici nel seguito tabellati:

PARAMETRI GEOTECNICI TERRENO MANUFATTO DI ALIMENTAZIONE	
Peso di volume medio	$\gamma_t \cong 20$ kN/m^3
Angolo di resistenza al taglio	$\varphi \cong 27.8$
Coesione efficace	$c \cong 5 \div 10$ kPa
Modulo di deformazione elastica	$E \cong 10 \div 20$ Mpa

Tabella 7 – Parametri geotecnici di riferimento per la modellazione del manufatto di alimentazione.

Si evidenzia, inoltre, che i valori riportati nelle tabelle soprastanti sono da intendersi come valori caratteristici X_k delle proprietà del terreno. Tali valori, desunti in modo da rappresentare una appropriata stima del valore che influisce sul verificarsi dello stato limite preso in esame verranno, quindi, opportunamente ridotti nelle verifiche geotecniche a mezzo dell'applicazione di coefficienti parziali di sicurezza γ_M, previsti dal capitolo 6 delle N.T.C.-2018, in modo tale da ottenere i parametri geotecnici di progetto X_d.

Per quanto concerne, infine, la categoria stratigrafica del sottosuolo e le condizioni topografiche del sito ai fini della determinazione della "*risposta sismica locale*" si rimanda ai contenuti della *Relazione geologica* allegata al Progetto definitivo e alla *Relazione geotecnica* del Progetto esecutivo, in base ai quali è stato possibile individuare una **categoria stratigrafica del sottosuolo ai fini sismici di tipo "B"**, alla quale è associato un coefficiente di amplificazione stratigrafico $S_S = 1,2$ e una **categoria topografica "T1"** – "P*endii con inclinazione media i < 15°*" come definito nelle *N.T.C.-2018, §3.2.2, tab. 3.2.III.* A tale categoria si associa, pertanto, un coefficiente di amplificazione topografico $S_T = 1,0$

9 CRITERI GENERALI DI CALCOLO E DI VERIFICA GEOTECNICA

Le verifiche di progetto sono state condotte secondo il "metodo dei coefficienti di sicurezza parziali" applicato all'ingegneria geotecnica come introdotto al *paragrafo 6.2.4* del D.M. 17.01.2018, "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" e dall'Eurocodice 7, "Progettazione Geotecnica" – UNI EN 1997-1.

Le verifiche geotecniche sono state, inoltre, condotte seguendo i metodi e i criteri previsti dai *paragrafi 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 delle N.T.C.-2018*, seguendo l'Approccio 1 e/o l'Approccio 2, prevedendo combinazioni differenti dei gruppi di coefficienti parziali per le azioni (A1, A2), per i parametri geotecnici e la resistenza dei materiali (M1, M2) e per la resistenza globale del sistema (R1, R2, R3), da adottare in funzione del tipo di opera e delle tipologie di verifiche per essa richieste. Per quanto riguarda la progettazione nei confronti delle azioni sismiche verrà, infine, fatto riferimento a quanto previsto dal *paragrafo 7.11 delle N.T.C.-2018*.

Per quanto riguarda la vita nominale delle opere e la classe d'uso delle stesse (*paragrafo 2.4* delle N.T.C.-2018) in considerazione della tipologia di intervento e la destinazione d'uso delle strutture si assume una vita nominale VN pari a 50 anni ed una classe d'uso II.

9.1 Criteri generali di progetto e di verifica

L' *O.P.C.M. n. 3274 del 08.05.2003* e le successive *Norme Tecniche per le costruzioni del 17.01.2018* hanno introdotto un nuovo criterio di verifica, basato sugli stati limite, in analogia con quanto già previsto dagli Eurocodici.

Le verifiche a rottura vengono effettuate allo Stato Limite Ultimo (SLU) sia in fase statica che in fase sismica, rispettando la condizione:

$$Ed \leq Rd \qquad (1)$$

dove:

- Ed è il valore di progetto dell'effetto delle azioni agenti;
- Rd è la corrispondente resistenza di progetto, che associa tutte le proprietà dei materiali e delle sezioni resistenti con i rispettivi valori di progetto.

Le verifiche sono, pertanto, state eseguite con il "*metodo dei coefficienti parziali*" previsto dalle N.T.C.-2018 da applicare alle azioni esterne che agiscono nel modello e alle proprietà dei terreni interessati.

Le caratteristiche geotecniche dei terreni, valutate attraverso opportune indagini geotecniche, sono definite "*valori caratteristici*".

Coefficienti sulle Azioni

- γ_G sulle azioni permanenti (sfavorevoli o favorevoli): $G_d = \gamma_G \cdot G$
- γ_Q sulle azioni variabili (sfavorevoli o favorevoli): $Q_d = \gamma_G \cdot Q$

Coefficienti parziali sui Parametri dei Terreni

- γ_γ sul peso di volume: $\gamma_d = \frac{\gamma}{\gamma_\gamma}$
- γ_φ sull'angolo d'attrito (sulla tangente dell'angolo di attrito): $tg\varphi_d = \frac{tg\varphi}{\gamma_\varphi}$
- γ_c sulla coesione efficace: $c'_d = \frac{c'}{\gamma_{c'}}$
- γ_{cu} sulla coesione non drenata: $\gamma_{cu} = \frac{c_u}{\gamma_{cu}}$

Coefficienti parziali per le Resistenze

$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R}$ variabili a seconda del tipo di fondazione o sistema geotecnico.

Nel D.M. 17.01.2018 vengono indicati i seguenti coefficienti parziali di calcolo:

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti G_2[1]	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

[1] Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

Tabella 8 – Coefficienti parziali per le azioni (A).

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

Tabella 9 – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (M).

Il valore di progetto R_d della resistenza si ottiene, infine, a partire dal valore caratteristico R_k applicando i coefficienti parziali γ_R delle tabelle seguenti, variabili in funzione del tipo di opera in esame:

Il valore di progetto R_d della resistenza si ottiene, infine, a partire dal valore caratteristico R_k applicando i coefficienti parziali γ_R delle tabelle seguenti, variabili in funzione del tipo di opera in esame:

Verifica	Coefficiente parziale
	(R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

Tabella 10.1 – Coefficienti parziali delle resistenze (R) per fondazioni.

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$
Ribaltamento	$\gamma_R = 1,15$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,4$

Tabella 10.2 – Coefficienti parziali delle resistenze (R) per i muri di sostegno.

Coefficiente	R2
γ_R	1.1

Tabella 10.3 – Coefficienti parziali delle resistenze (R) per opere in materiali sciolti e fronti scavo.

Le verifiche allo **Stato Limite Ultimo** devono, pertanto, essere effettuate sia nei confronti degli aspetti geotecnici (*SLU di tipo geotecnico – GEO*) sia di quelli strutturali (*SLU di tipo strutturale – STR*) tenendo conto in linea generale dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 8, 9, 10 (10.1 / 10.2 / 10.3), seguendo uno dei due seguenti approcci progettuali:

Approccio 1:

- Combinazione 1: (A1+M1+R1);
- Combinazione 2: (A2+M2+R2).

Approccio 2:

- Combinazione (A1+M1+R3).

Opere di fondazione di tipo diretto

Per quanto riguarda le **fondazioni di tipo diretto**, le Norme Tecniche per le costruzioni del 17.01.2018 impongono, in particolare, di verificare che esse siano verificate almeno nei confronti dei seguenti stati limite:

SLU di tipo geotecnico (GEO):

- collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno;
- collasso per scorrimento sul piano di posa;
- stabilità globale;

SLU di tipo strutturale (STR):

- raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali,

accertando che la condizione *(1)* sia soddisfatta per ogni stato limite considerato.

La verifica a stabilità globale deve essere effettuata secondo l'Approccio 1 con la Combinazione 2 (A2+M2+R2), tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle *tabelle 8 e 9* per le azioni e i parametri geotecnici e nella *tabella 10.3* per le resistenze globali.

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate, tenendo sempre conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle suddette e seguendo la combinazione (A1+M1+R3) prevista dall'Approccio 2. Nelle verifiche effettuate con l'Approccio 2 che siano finalizzate al dimensionamento strutturale, il coefficiente γ_R non deve essere portato in conto.

Le verifiche agli stati limite ultimi in condizioni sismiche devono essere effettuate ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e impiegando i parametri geotecnici e le resistenze di progetto, con i valori dei coefficienti parziali indicati nelle *tabelle 8 e 9*, e imponendo un coefficiente γ_R come previsti dalla *tabella 7.11.II* del *paragrafo 7.11.5.3.1 delle N.T.C.-2018.*

Pareti e muri controterra

In base a quanto previsto dal *paragrafo 6.5.3.1.1. del D.M. 17.01.2018*, per le strutture in elevazione progettualmente previste (pareti controterra in c.a. relative a canali e manufatti di contenimento liquidi) si è provveduto ad eseguire le verifiche con riferimento ai seguenti stati limite:

- *SLU di tipo geotecnico (GEO):*
  - stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno;
  - scorrimento sul piano di posa;
  - collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno;
  - ribaltamento;
- *SLU di tipo strutturale (STR):*
  - raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali,

accertando sempre che la condizione Ed ≤ Rd *(1)* sia soddisfatta per ogni stato limite considerato.

Si evidenzia che relativamente ai canali e ai manufatti scatolari non sono state effettuate verifiche specifiche a scorrimento e a ribaltamento, oltre che a stabilità globale, in quanto non assimilabili a vere e proprie opere di sostegno, bensì a manufatti interrati confinati da ambo i lati, per i quali, tali tipi di verifiche non assumono significato fisico.

Le verifiche di stabilità globale, sempre in riferimento al *paragrafo 6.5.3.1.1. del D.M. 17.01.2018* saranno effettuate secondo l'Approccio 1 con la Combinazione 2:

− Combinazione 1: (A1+M1+R1);

− Combinazione 2: (A2+M2+R2).

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle *tabelle 8, 9 e 10.3.*

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate secondo l'Approccio 2, con la Combinazione (A1, M1, R3), tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle *tabelle 8*, *9 e 10.2*.

In generale, le ipotesi di calcolo delle spinte devono essere giustificate sulla base dei prevedibili spostamenti relativi manufatto-terreno, ovvero determinate con un'analisi dell'interazione terreno-struttura. Le spinte terranno in conto, ove potenzialmente presente, del sovraccarico e dell'inclinazione del piano campagna, dell'inclinazione del paramento rispetto alla verticale, delle pressioni interstiziali e degli effetti della filtrazione nel terreno.

Fronti scavo e verifiche di stabilità

Con riferimento alle condizioni statiche le verifiche devono essere condotte secondo l'Approccio 1, con la Combinazione 2 (A2+M2+R2) e, in relazione al *capitolo 6.8*, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle *tabelle 8, 9 e 10.3.*

La verifica di stabilità sarà, pertanto, superata se il rapporto tra le forze resistenti e le forze agenti (γ_R) risulterà superiore a 1.1.

Il progetto tiene in conto dell'esistenza di opere e sovraccarichi in prossimità degli scavi, esaminandone l'influenza sul regime delle acque superficiali, garantendo la stabilità e la funzionalità delle costruzioni preesistenti nell'area interessata dai lavori.

Per scavi in trincea a fronte verticale di altezza superiore ai 2 m, nei quali sia prevista la permanenza di operai, e per scavi che ricadano in prossimità di manufatti esistenti, potrà essere, in generale, prevista un'opportuna armatura di sostegno provvisoria delle pareti di scavo oppure un'adeguata sagomatura del fronte scavo con pendenza tale da rispettare i coefficienti di sicurezza previsti dalle norme tecniche vigenti.

Le verifiche devono essere svolte nei confronti degli stati limite ultimi (SLU) e nei confronti degli stati limite di servizio (SLE), quando pertinenti. Le azioni dovute al terreno, all'acqua e ai sovraccarichi, anche transitori (per esempio dovuti ai mezzi di cantiere) devono essere calcolate in modo da pervenire, di volta in volta, alle condizioni più sfavorevoli tra quelle corrispondenti alle diverse fasi costruttive, al termine della costruzione e all'esercizio dell'opera.

Nelle verifiche di sicurezza nei confronti delle azioni sismiche possono essere effettuate ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici *(§ 7.11.1 N.T.C.-2018*) e impiegando le resistenze di progetto calcolate con un coefficiente parziale pari a $\gamma_R = 1.2$.

Si deve, inoltre, tener conto della presenza di manufatti interagenti con l'opera.

Le opere con valenza geotecnica in progetto, ove pertinente e ritenuto necessario vanno inoltre, verificate anche nei confronti degli stati limite di esercizio, con riferimento a quanto previsto dal *paragrafo 6.2.4.3 del D.M. 17.01.2018.* A tale scopo, il progetto deve esplicitare le prescrizioni relative agli spostamenti (cedimenti) compatibili e le prestazioni attese per le opere stesse, in relazione all'importanza e all'uso a cui sono destinate.

Per ciascun stato limite di esercizio deve essere, quindi, rispettata la condizione:

$$E_d \leq C_d \qquad (2)$$

dove E_d è il valore di progetto dell'effetto delle azioni e C_d è il prescritto valore limite dell'effetto delle azioni, stabilito in funzione del comportamento della struttura in elevazione.

Verifiche di tipo idraulico a galleggiamento

Per la stabilità al sollevamento deve risultare che il valore di progetto dell'azione instabilizzante $V_{inst,d}$, combinazione di azioni permanenti ($G_{inst,d}$) e variabili ($Q_{inst,d}$), sia non maggiore della combinazione dei valori di progetto delle azioni stabilizzanti ($G_{stb,d}$) e delle resistenze (R_d):

$$V_{inst,d} \leq G_{stb,d} + R_d \qquad \text{dove: } V_{inst,d} = G_{inst,d} + Q_{inst,d}$$

Per le verifiche di stabilità al sollevamento, i relativi coefficienti parziali sulle azioni sono indicati nella *Tab. 6.2.III delle N.T.C.-2018*. Tali coefficienti devono essere combinati in modo opportuno con quelli relativi ai parametri geotecnici (M2).

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	Sollevamento (UPL)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9
	Sfavorevole		1,1
Carichi permanenti G_2[3]	Favorevole	γ_{G2}	0,8
	Sfavorevole		1,5
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qi}	0,0
	Sfavorevole		1,5

Tabella 11 – Coefficienti parziali delle azioni (A) per le verifiche idrauliche.

Considerata la tipologia di opere caratterizzate da manufatti interrati e confinati da ambo i lati, la litologia del terreno in sito nonché la non rilevante potenzialità della falda, si è ritenuto congruo non svolgere particolari verifiche in esercizio riguardanti gli *stati limite ultimi di tipo idraulico*

(sifonamento e sollevamento) di cui al *paragrafo 6.2.4.2 del D.M. 17.01.2018,* in quanto caratterizzati da scarsa valenza e sussistenza fisica in rapporto alla quota relativa di falda. Può essere, pertanto, ritenuta ragionevolmente giustificata l'omissione di tali tipi di verifiche.

Nelle condizioni di **Stato Limite di Esercizio** dovranno, inoltre, essere verificati gli spostamenti dell'opera in questione, in modo tale da verificarne la compatibilità con la funzionalità dell'opera stessa.

9.2 Stima dei cedimenti

Per quanto riguarda, invece, la **stima dei cedimenti**, in considerazione della tipologia di terreno, si è fatto fare riferimento al metodo di *Christian e Carrier (1978),* secondo la seguente espressione:

$$S_i = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot \frac{p \cdot B}{E}$$

dove:

- p è il carico agente in fondazione;
- B è la larghezza della fondazione;
- E è il modulo di deformazione elastica del terreno.
- μ_0 e μ_1 sono fattori (di forma e di profondità) dipendenti rispettivamente dalla profondità del piano di fondazione e dallo spessore dello strato compressibile (*figura 33*).

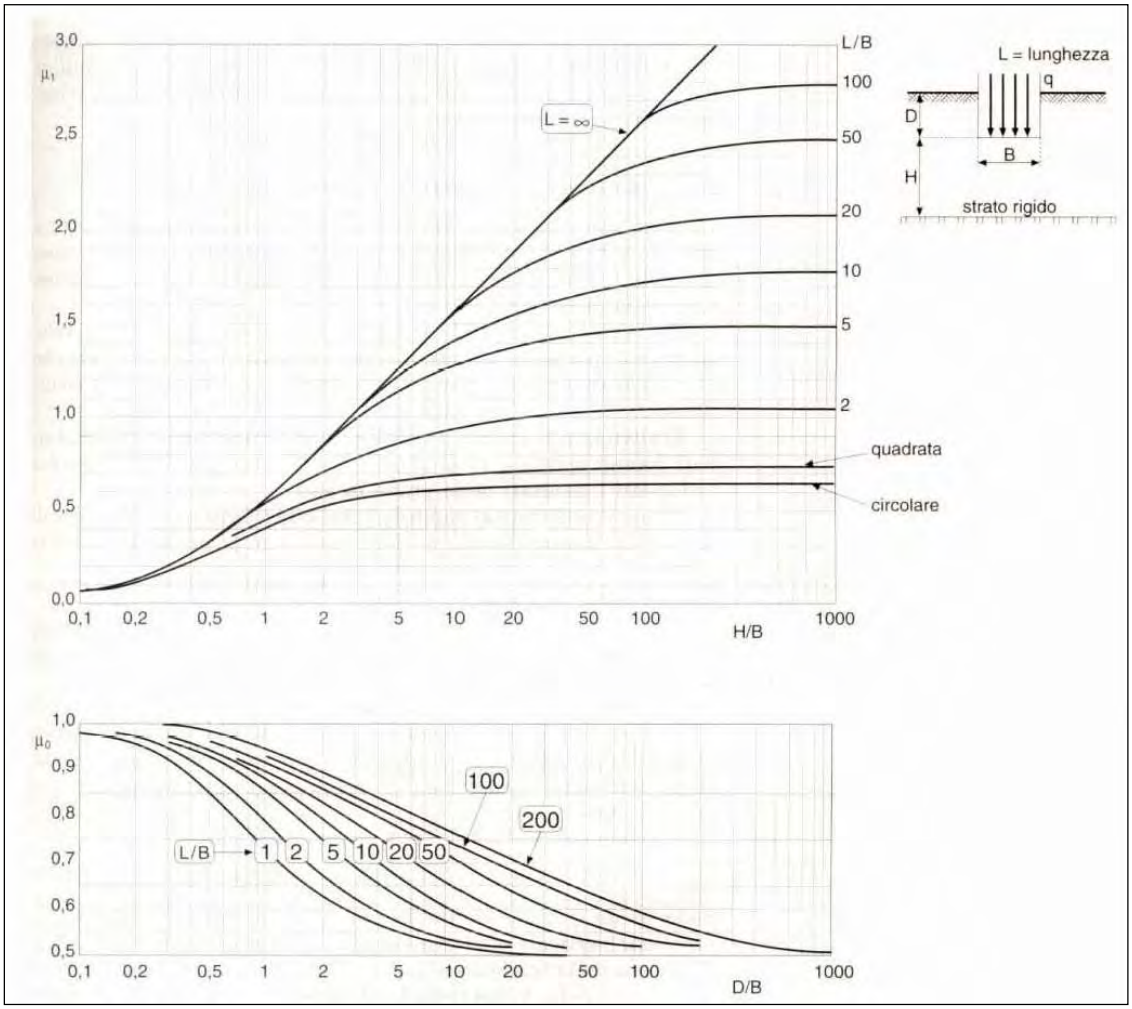


Figura 35 – Coefficienti di forma e di profondità per il calcolo del cedimento immediato.

9.3 Calcolo della capacità portante dei terreni di fondazione

Per fondazione si intende una struttura adatta a trasmettere il peso della costruzione e le altre forze agenti sulla sovrastruttura al terreno. I carichi trasmessi da una struttura al terreno di fondazione non devono superare la massima resistenza al taglio mobilitabile dal terreno stesso. Nel caso ciò avvenisse la conseguenza sarebbe la rottura degli strati portanti, che si manifesterebbe con ampie deformazioni non tollerabili dalla sovrastruttura.

Il valore della resistenza al taglio massima mobilitabile, e quindi il carico massimo teorico che può essere applicato dalla costruzione, viene definito capacità portante limite del terreno di fondazione. Vengono definite superficiali le fondazioni in cui sia verificata la disuguaglianza:

$$D < 4\,B$$

in cui D è la profondità di posa della fondazione dal piano campagna e B la dimensione del lato corto della fondazione stessa.

Il comportamento teorico del terreno di fondazione sottoposto all'applicazione di un carico viene generalmente schematizzato secondo le indicazioni di *Terzaghi (1943).* Si suppone quindi che, per una fondazione ruvida, nel terreno caricato del peso della costruzione si possano individuare 3 zone a comportamento meccanico e reologico differente (come indicato nella figura seguente):

1. zona, geometricamente assimilabile ad un cuneo (in figura indicata con il triangolo AEB), in cui il terreno mantiene un comportamento elastico e tende a penetrare negli strati sottostanti, solidalmente con la fondazione; questo cuneo forma un angolo uguale a φ (φ = angolo di resistenza al taglio del terreno su cui poggia la fondazione) rispetto all'orizzontale secondo *Terzaghi*, uguale a 45° + φ/2 secondo *Meyerhof, Vesic e Brinch Hansen*;
2. zona di scorrimento radiale (in figura, settori AFB e ECB), rappresentabile graficamente da una serie di archi di spirale logaritmica per φ > 0 o di cerchio per φ = 0, dove avviene la trasmissione dello sforzo applicato dal cuneo di materiale che costituisce la zona 1;
3. zona che si oppone alla penetrazione del cuneo della zona 1 nel terreno (in figura, triangoli AGF e ECD); si assume teoricamente che assuma la forma di un triangolo isoscele con un'inclinazione dei due lati uguali rispetto all'orizzontale di 45° - φ/2; sulla superficie di questa zona agisce, con effetto stabilizzante, il peso del terreno sopra il piano di posa della fondazione ed altri eventuali sovraccarichi.

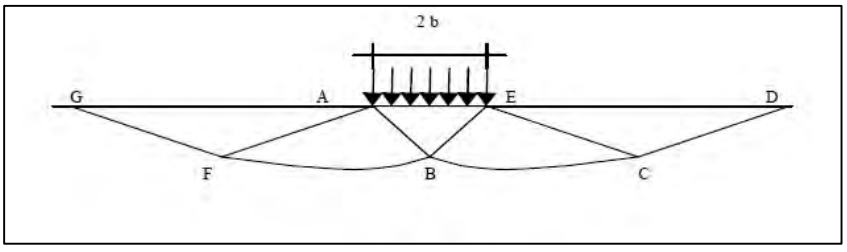


Figura 36 – Schema teorico del comportamento del terreno di fondazione.

Si ha la rottura del terreno di fondazione quando il carico applicato dal cuneo della zona 1 supera la resistenza passiva della zona 3. In questo caso la zona 1 penetrerà nel terreno di fondazione, che tenderà a rifluire lateralmente lungo la zona di scorrimento plastico, dando luogo a rigonfiamenti superficiali.

Si può giungere alla rottura del terreno attraverso tre modalità differenti:

a) rottura di tipo generalizzato: in terreni addensati e/o consolidati la resistenza al taglio mobilitata aumenta rapidamente per piccoli incrementi di deformazione; al superamento della portanza limite il terreno si rompe e subisce grosse deformazioni; riportando in grafico gli sforzi applicati e le deformazioni relative risulta facilmente identificabile il valore della resistenza al taglio massima;
b) rottura di tipo locale: in terreni sciolti e/o scarsamente consolidati la resistenza al taglio mobilitata aumenta gradualmente in relazione a significativi incrementi di deformazione; risulta difficile individuare in questo caso la resistenza al taglio massima, superata la quale si ha la rottura del terreno, in quanto qui il fenomeno avviene con maggiore gradualità;
c) rottura di tipo intermedio: presenta caratteristiche intermedie fra la rottura di tipo generalizzato e locale.

Numerose sono le relazioni analitiche proposte per valutare la capacità portante di una fondazione superficiale. Le più utilizzate ed attendibili sono quelle di *Terzaghi, Meyerhof, Vesic e Brinch-Hansen*. Tra tutte le suddette formule, quella più corretta da utilizzare nel caso in esame è risultata essere la formula di *Brinch-Hansen*, così come indicato nei recenti Eurocodice 7 (progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali) ed Eurocodice 8 (indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici), valida per terreni sciolti di qualunque natura e per tipologie di fondazione sia superficiali che profonde.

Affinché una fondazione possa resistere al carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$Vd \leq Rd$$

Dove Vd è il carico di progetto, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso della fondazione stessa; mentre Rd è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali, tenendo conto anche dell'effetto di carichi inclinati od eccentrici. Nella valutazione analitica del carico limite di progetto Rd si devono considerare le situazioni a breve e a lungo termine nei terreni a grana fine.

CAPACITÀ PORTANTE IN CONDIZIONI DRENATE

Metodo di Terzaghi (1955)

Terzaghi, proseguendo lo studio di *Caquot,* ha apportato alcune modifiche per tenere conto delle effettive caratteristiche dell'insieme opera di fondazione-terreno.

L'espressione del carico limite risulta:

$$q_{\lim} = A \cdot \gamma \cdot h + B \cdot c + C \cdot \gamma \cdot b$$

in cui "C" è un coefficiente che risulta funzione dell'angolo di attrito φ del terreno posto al di sotto del piano di posa e dell'angolo φ prima definito; b è la semilarghezza della striscia.

Inoltre, basandosi su dati sperimentali, Terzaghi passa dal problema piano al problema spaziale introducendo dei fattori di forma. Un ulteriore contributo è stato apportato da Terzaghi sull'effettivo comportamento del terreno.

In un terreno molto sciolto, invece, la relazione carichi-cedimenti presenta un tratto curvilineo accentuato fin dai carichi più bassi per effetto di una rottura progressiva del terreno (rottura locale); di conseguenza l'individuazione del carico limite non è così chiara ed evidente come nel caso dei terreni compatti. Per i terreni molto sciolti, Terzaghi consiglia, quindi, di prendere in considerazione il valore di carico limite che si calcola con la formula precedente introducendo però dei valori ridotti delle caratteristiche meccaniche del terreno e precisamente:

$$\tan \varphi_{rid} = \frac{2}{3} \cdot \tan \varphi \quad \text{e} \quad c_{rid} = \frac{2}{3} \cdot c$$

Esplicitando i coefficienti della formula precedente, la formula di *Terzaghi* può essere scritta:

$$q_{\lim} = c \cdot N_c + \gamma \cdot D \cdot N_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$$

dove N_c, N_q, N_γ sono i fattori di capacità portante, dipendenti dall'angolo di resistenza al taglio e così definiti:

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi'} \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi'}{2}\right)$$

$$N_c = \frac{N_q - 1}{\tan \varphi'}$$

$$N_\gamma = 2\left(N_q - 1\right)\tan \varphi'$$

Formula di Brinch – Hansen (1970)

Rappresenta un'ulteriore estensione della formula di *Terzaghi*; che prevede l'introduzione di una serie di coefficienti correttivi che tengono conto di vari fattori, espressa dalla seguente formula generale:

$$q_{\lim} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + \gamma \cdot D \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma$$

dove:

- N_c, N_q, N_γ = fattori di capacità portante, dipendenti dall'angolo di resistenza al taglio e precedentemente definiti;
- s_c, s_q, s_γ = fattori di forma della fondazione;
- i_c, i_q, i_γ = fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del carico;
- b_c, b_q, b_γ = fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione della base della fondazione;
- d_c, d_q, d_γ = fattori dipendenti dalla profondità "D" del piano di posa della fondazione;
- g_c, g_q, g_γ = fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del piano campagna.

La formula di *Brinch – Hansen* vale per qualsiasi rapporto D/B, quindi, sia per fondazioni superficiali che profonde, ma lo stesso autore introdusse dei coefficienti per meglio interpretare il comportamento reale della fondazione, senza di essi, infatti, si avrebbe un aumento troppo forte del carico limite con la profondità:

Per valori di D/B < 1

$$d_c = d_q - \frac{1 - d_q}{N_c \cdot \tan\varphi'}$$

$$d_q = 1 + 2\tan\varphi'\left(1 - \sin\varphi'\right)^2 \frac{D}{B}$$

$$d_\gamma = 1$$

Per valori di D/B > 1

$$d_c = d_q - \frac{1 - d_q}{N_c \cdot \tan\varphi'}$$

$$d_q = 1 + 2\tan\varphi'\left(1 - \sin\varphi'\right)^2 \tan^{-1}\frac{D}{B}$$

$$d_\gamma = 1$$

Fattore di forma (formulazioni in riferimento ai risultati ottenuti da De Beer):

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c}\frac{B}{L} \qquad s_q = 1 + \frac{B}{L}\tan\varphi' \qquad s_\gamma = 1 - 0.4\frac{B}{L}$$

NB: nel caso di fondazione nastriforme i suddetti coefficienti risultano pari all'unità.

Fattore di inclinazione di carico:

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \tan\varphi'}$$

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{N + BLc'\cot g\varphi'}\right)^m$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{N + BLc'\cot g\varphi'}\right)^{m+1}$$

$$m = \frac{2 + \frac{B}{L}}{1 + \frac{B}{L}}$$

Fattore di inclinazione del piano di fondazione:

$$b_q = (1 - \alpha\tan\varphi')^2 \qquad b_c = b_q - \frac{1 - b_q}{N_c\tan\varphi'} \qquad b_\gamma = b_q$$

con α = angolo di inclinazione del piano di fondazione.

Fattore di inclinazione del terreno (piano campagna):

$$g_q = (1 - \tan\omega)^2 \qquad g_c = g_q - \frac{1 - g_q}{N_c\tan\varphi'} \qquad g_\gamma = g_q$$

con ω = angolo di inclinazione del piano campagna.

9.4 Verifiche a scorrimento

Per le verifiche a scorrimento delle opere di sostegno in progetto il valore dell'azione di calcolo E_d è la componente parallela al piano di posa $H_d = T_{max}$ del carico risultante in fondazione, da confrontare con la componente parallela al piano di posa della forza che esprime la resistenza del terreno:

$$H_d \le R_d = \frac{N_d \tan\delta_d}{\gamma_R}$$

dove δ_d rappresenta l'angolo di attrito tra fondazione e terreno, che viene assunto pari a 2/3 dell'angolo di attrito del terreno di calcolo φ_c.

9.5 Verifiche a ribaltamento

Per le verifiche geotecniche a ribaltamento delle opere di sostegno in progetto, deve risultare che il valore di progetto dell'azione instabilizzante o ribaltante M_r, combinazione di azioni permanenti ($G_{inst,d}$) e variabili ($Q_{inst,d}$), non sia maggiore della combinazione dei valori di progetto delle azioni stabilizzanti M_s:

$$M_r \leq M_s$$

Le azioni stabilizzanti nei confronti del ribaltamento sono dovute, in particolare, al peso proprio dell'opera e al peso del terreno di ricoprimento gravante sulla suola di fondazione di monte, ove presente. Tali azioni generano, nel complesso, un momento stabilizzante riferito al fulcro di rotazione alla base della fondazione, nei confronti del possibile ribaltamento.

Le verifiche in argomento, in relazione a quanto specificato al paragrafo *6.5.3.1.1* delle N.T.C., sono state svolte secondo lo stato limite ultimo di equilibrio di corpo rigido (EQU) adottando i coefficienti parziali sulle azioni della *tabella 2.6.I del D.M. 17.01.2018* e adoperando i coefficienti parziali del gruppo (M2) definiti nella *tabella 6.2.II* delle N.T.C..

10 VERIFICHE STRUTTURALI E GEOTECNICHE RELATIVE AL MANUFATTO DI ALIMENTAZIONE

10.1 Metodi di analisi e criteri di verifica strutturale

La valutazione della sicurezza delle strutture in progetto in calcestruzzo armato è stata condotta secondo i principi fondamentali ed i metodi indicati al *capitolo 2* del D.M. 17.01.2018. In particolare, l'analisi strutturale volta alla valutazione degli effetti delle azioni, è stata condotta mediante il metodo di **analisi elastica lineare** ai sensi del *paragrafo 4.1.1.1 delle N.T.C.-2018*, con lo scopo di stabilire la distribuzione delle forze interne, delle tensioni, delle deformazioni e degli spostamenti nelle strutture. Per la determinazione degli effetti delle azioni, le analisi saranno, quindi, effettuate assumendo:

- sezioni interamente reagenti con rigidezze valutate riferendosi al solo calcestruzzo;
- relazioni tensione deformazione lineari;
- valori medi del modulo d'elasticità.

Ai fini della valutazione della resistenza ultima delle sezioni di elementi monodimensionali

nei confronti di sforzo normale e flessione, si adotteranno, inoltre, le seguenti ipotesi:

- conservazione delle sezioni piane;
- perfetta aderenza tra acciaio e calcestruzzo;
- rottura del calcestruzzo determinata dal raggiungimento della sua capacità de formativa ultima a compressione;
- rottura dell'armatura tesa determinata dal raggiungimento della sua capacità de formativa ultima.

L'analisi strutturale sismica è stata, invece, condotta mediante il metodo di **analisi statica lineare** ai sensi del *paragrafo 7.3.3.2 delle N.T.C.-2018*.

Relativamente ai **metodi di calcolo**, come già indicato in precedenza, si farà riferimento al metodo degli stati limite, secondo quanto previsto dal D.M. 17.01.2018. Le suddette norme saranno applicate integralmente anche per quanto riguarda i materiali e i prodotti, le azioni e il collaudo statico. Ai fini delle verifiche strutturali dovrà risultare sempre soddisfatta la seguente relazione:

Rd (Resistenza di progetto) > Ed (Effetto delle azioni di progetto)

dove R_d è la resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate ed E_d è il valore di progetto dell'effetto delle azioni, valutato in base ai valori di progetto delle azioni e ai coefficienti di combinazione come indicato nel *§ 2.5.3 delle N.T.C.*.

10.1.1 Resistenze di calcolo

In generale, le resistenze di calcolo f_d dei materiali, calcestruzzo ed acciaio, sono ottenute mediante l'espressione:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M}$$

dove:

- f_k è la resistenza caratteristica del materiale considerato;
- γ_M è il coefficiente parziale per le resistenze, comprensivo delle incertezze del modello e della geometria, che può variare in funzione del materiale, della situazione di progetto e della particolare verifica in esame.

I valori specifici dei parametri caratteristici dei materiali per uso strutturale sono stati, pertanto, dedotti dalle formule indicate al *paragrafo 4.1.2.1.1* del citato D.M. che vengono riportate di seguito:

- **resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo:**

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_C}$$

dove:

α_{cc} è il coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata ed è pari a 0,85;

γ_C è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo ed è pari a 1,5;

f_{ck} è la resistenza caratteristica cilindrica a compressione del calcestruzzo a 28 giorni.

- **resistenza di calcolo a trazione del calcestruzzo:**

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_C}$$

dove:

γ_C è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo ed è pari a 1,5;

f_{ctk} è la resistenza caratteristica a trazione del calcestruzzo e vale:

$$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm}$$

dove:

f_{ctm} è la resistenza media a trazione semplice del calcestruzzo e vale:

$$f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3}$$

dove:

f_{ck} è la resistenza caratteristica cilindrica a compressione del calcestruzzo a 28 giorni.

- **resistenza di calcolo dell'acciaio:**

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_S}$$

dove:

γ_S è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al'acciaio ed è pari a 1,15;

f_{yk} è la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio.

Con riferimento, quindi, alle caratteristiche tecniche – prestazionali indicate al *capitolo 3*, si sono, in definitiva assunti i seguenti valori principali di resistenza di calcolo:

Calcestruzzo C25/30 – R_{ck} 30 N/mm^2:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{y_c} = 0{,}85 \cdot \frac{R'_{ck} \cdot 0{,}83}{y_c} = 0{,}85 \cdot \frac{25{,}0}{1{,}5} \cong 14{,}17 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{y_c} = \frac{0{,}7 \cdot \left(0{,}3 \cdot f_{ck}^{2/3}\right)}{y_c} = 1{,}20 \text{ N/mm}^2$$

Acciaio per c.a. B450C controllato in stabilimento:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{y_s} = \frac{450}{1{,}15} = 391 \text{ N/mm}^2$$

Le tensioni nel calcestruzzo e nell'armatura si dedurranno, a partire dalle deformazioni, utilizzando i rispettivi diagrammi tensione-deformazione.

I diagrammi costitutivi del calcestruzzo sono stati adottati in conformità alle indicazioni riportate al *paragrafo 4.1.2.1.2.1 del D.M. 17 gennaio 2018*; in particolare sia per le verifiche effettuate a pressoflessione retta che per le verifiche degli elementi a pressoflessione deviata è stato adottato il modello "*parabola-rettangolo*" indicato dal diagramma (a) riportato nella figura sottostante:

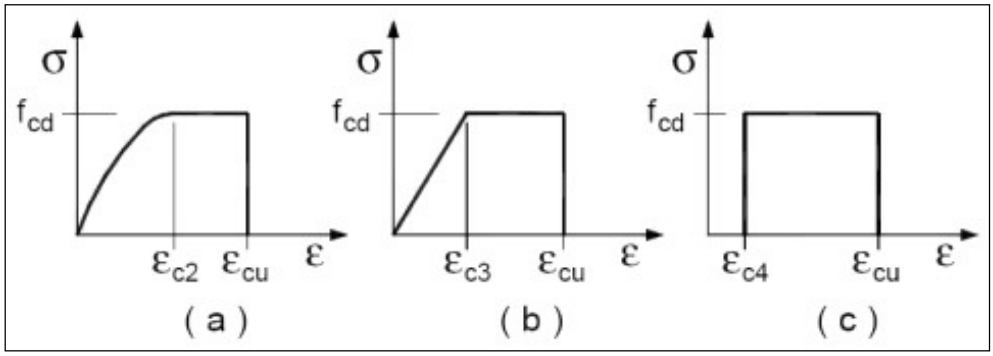


Figura 37a - Modelli di calcolo tensione-deformazione per il calcestruzzo.

Per le classi di resistenza del calcetruzzo pari o inferiori a C50/60 si può porre:

- ε_{c2} = 2.0‰;
- ε_{cu} = 3.5‰.

Per il diagramma tensione-deformazione dell'acciaio è possibile adottare opportuni modelli rappresentativi del reale comportamento del materiale in conformità alle indicazioni riportate al *punto 4.1.2.1.2.2 del D.M. 17 gennaio 2018*; in particolare è stato, quindi, adottato il modello elastico perfettamente plastico indefinito nel seguito rappresentato (diagramma *(b)*):

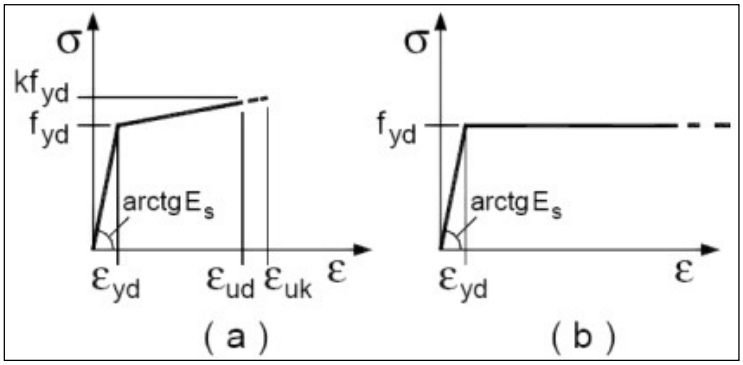


Figura 37b - Modelli di calcolo σ-ε per l'acciaio.

Tutti i materiali impiegati dovranno essere, comunque, verificati con opportune prove di laboratorio secondo le prescrizioni della vigente Normativa (*capitolo 11 del D.M. 17.01.2018*).

10.1.2 Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU)

10.1.2.1 Dimensionamento armature longitudinali (verifica flessione)

Allo Stato Limite Ultimo i momenti flettenti sollecitanti di progetto MEd sono calcolati con i metodi dell'analisi strutturale per i carichi della combinazione fondamentale:

$$\gamma_{G1}\, G_1 + \gamma_{G2}\, G_2 + \gamma_P\, P + \gamma_{Q1}\, Q_{k1} + \gamma_{Q2}\, \Psi_{02}\, Q_{k2} + \gamma_{Q3}\, \Psi_{03}\, Q_{k3} + \ldots$$

Una sezione inflessa da un momento di progetto di SLU M_{Ed} è verificata se è soddisfatta la relazione:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

Per il calcolo dello stato tensionale sono valide le tre ipotesi esposte precedentemente:

Il metodo definisce "*configurazioni deformate di SLU*" di una sezione solo quelle configurazioni in cui almeno uno dei materiali acciaio e calcestruzzo raggiunge la deformazione ultima del proprio diagramma di progetto. Solo tali configurazioni sono convenzionalmente definite "*di stato limite ultimo*".

In flessione le configurazioni deformate di una sezione di interesse allo SLU sono, dunque, tutte e solo quelle in cui la deformazione del calcestruzzo al bordo compresso è pari alla deformazione ultima $|\varepsilon_c| = |\varepsilon_{cu2}|$ mentre la deformazione ε_s dell'acciaio è compresa tra la deformazione nulla $\varepsilon_s = 0$ e la deformazione ultima ε_{ud}. Per le sezioni inflesse sono $N_{Ed} = 0$ e $M_{Ed} \neq 0$. Perché risulti $N_{Ed} = 0$ deve essere (vedi *figura 38*):

$$C + S' = S \qquad\qquad \beta_1\, f_{cd}\, x_u\, b + \sigma'_s\, A'_s = \sigma_s\, A_s$$

L'asse neutro "taglia" la sezione alla profondità x_u, tale valore permette il calcolo della risultante C delle tensioni del calcestruzzo compresso.

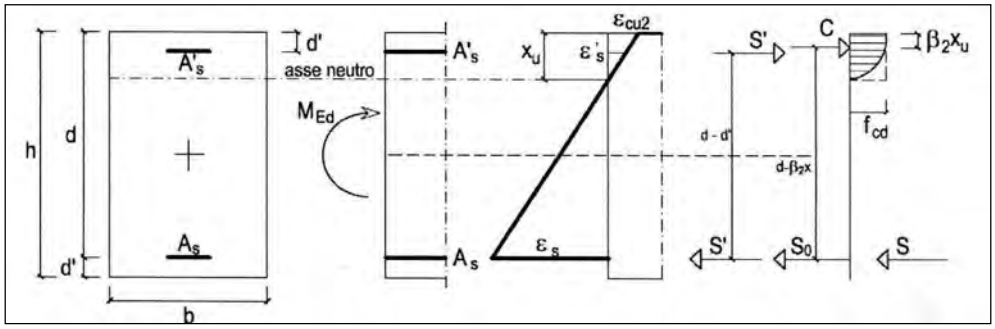


Figura 38.

Il momento resistente di SLU M_{Rd} è somma di due coppie, una coppia calcestruzzo-acciaio $C - S_0$ formata dalla risultante C del calcestruzzo compresso e S_0 di parte dell'armatura tesa il cui braccio di leva è $z = (d-\beta_2 x_u)$, e una coppia S' – S formata dalle risultanti S' dell'armatura compressa e della parte restante dell'armatura tesa, con braccio di leva (d-d') (vedi *figura 38*):

$M_{Rd} = C\ z + S'\ (d-d')$ $\qquad$ $M_{Rd} = \beta_1\ f_{cd}\ x_u\ b\ (d-\beta_2\ x_u) + \sigma'_s\ A_s' = \sigma'_s\ A_s'\ (d-d')$

Avendo come dati le caratteristiche dei materiali acciaio – calcestruzzo e le dimensioni geometriche b, d della sezione considerata, le incognite di progetto sono tre: la larghezza della zona compressa e le aree d'armatura A_s' e A_s. Se si fissa un rapporto A_s'/As le due equazioni sopra riportate (una di equilibrio alla traslazione e una di equilibrio alla rotazione) permettono di determinare la larghezza della zona compressa e l'area A_s dell'armatura tesa.

Dal progetto si ottengono quantità teoriche che sono successivamente arrotondate per eccesso. Tale arrotondamento garantisce che la capacità portante M_{Rd} della sezione sia maggiore di quella minima teorica: progetto e verifica costituiscono dunque di fatto un'unica fase.

10.1.2.2 Dimensionamento armature trasversali (verifica taglio)

Le armature trasversali in grado di portare una forza di taglio V sono quelle che, inclinate da 45° a 90° sull'asse longitudinale di un elemento, attraversano l'asse neutro collegando il corrente inferiore teso con il corrente superiore compresso. Tali armature, per essere efficaci, devono essere debitamente ancorate in entrambi i correnti.

Negli elementi privi di armatura trasversale sotto l'effetto dei carichi nascono fessure sub verticali, oltre che nella zona prevalentemente inflessa, anche nella zona di flessione/taglio. In assenza

di armature trasversali per il trasferimento della forza di taglio si ipotizza un meccanismo resistente arco-tirante in cui l'arco è costituito dal calcestruzzo compresso e il tirante dalle armature inferiori tese ancorate alle estremità (*figura 39*).

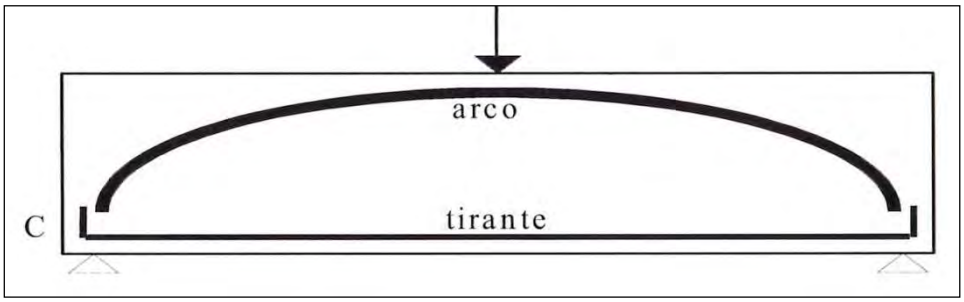


Figura 39.

Perché il meccanismo arco-tirante sia efficace alle estremità della trave deve essere presente un'adeguate quantità d'armatura al bordo inferiore della sezione. Ipotizzando che il corrente compresso incida nel nodo di estremità con un angolo di 45°, per l'equilibrio nasce nel corrente teso una forza di trazione di intensità pari alla forza di taglio V.

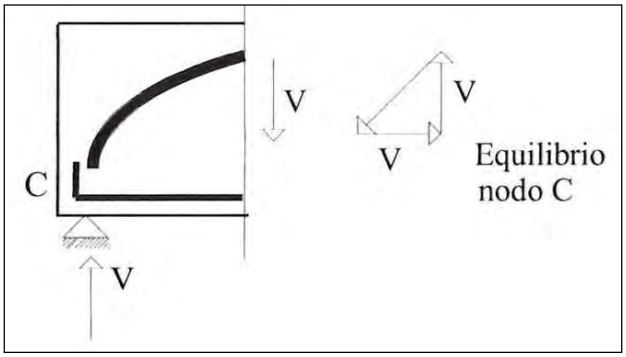


Figura 40.

La capacità portante V_{Rd} di un elemento non armato a taglio vale (secondo *D.M. 17.01.2018, paragrafo. 4.1.2.3.5.1*):

$$V_{Rd} = \left\{ 0{,}18 \cdot k \cdot \frac{(100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}}}{\gamma_c} + 0{,}15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq \left(v_{min} 0{,}15 \cdot \sigma_{cp}\right) \cdot b_w \cdot d$$

Per cui deve essere rispettata la seguente disuguaglianza:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

In presenza di significativi sforzi di trazione, la resistenza a taglio del calcestruzzo è da considerarsi nulla e, in tal caso, non è possibile adottare elementi sprovvisti di armatura trasversale.

Per elementi dotati di armatura trasversale (staffe, barre piegate,…) il D.M. 17.01.2018 e l'EC2 schematizzano la trave con una sovrapposizione di reticoli isostatici costituiti ciascuno da bielle di calcestruzzo compresse inclinate dell'angolo θ, bielle tese formate dalle armature trasversali disposte con un angolo α compreso tra 45° e 90° rispetto alla linea d'asse della trave, corrente superiore compresso e corrente inferiore teso (*modello di Morsch – figura 41*).

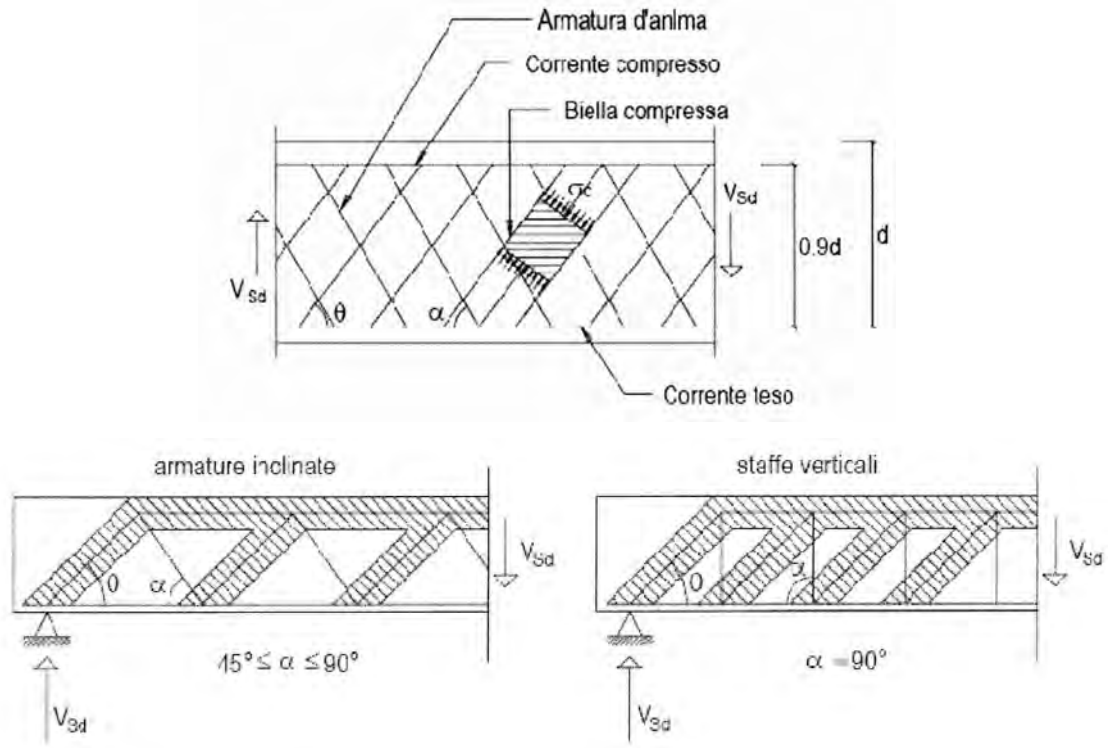


Figura 41.

Le sollecitazioni nelle bielle del reticolo isostatico si calcolano con semblici equazioni d'equilibrio alla traslazione.

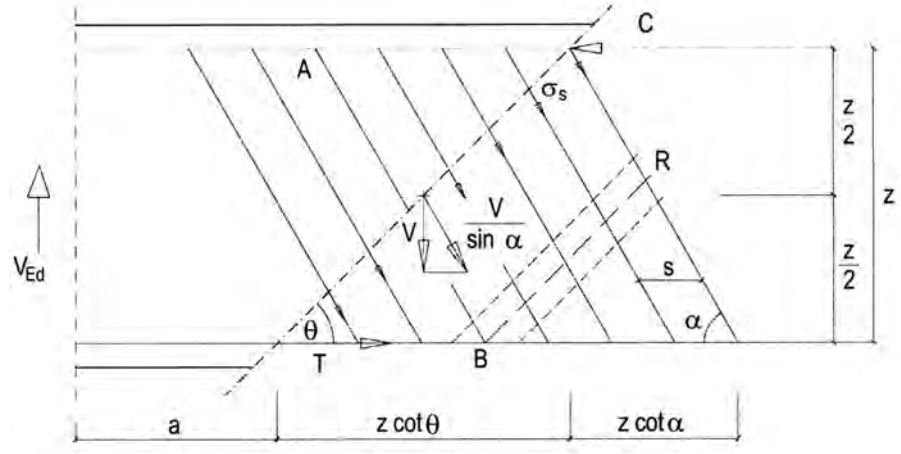


Figura 42.

In base al paragrafo *4.1.2.3.5.2 del D.M. 17.01.2018*, l'inclinazione θ dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti:

$$1 \leq \text{ctg}\,\theta \leq 2{,}5$$

La verifica di resistenza (SLU) si pone con:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

dove V_{Ed} è il valore di calcolo dello sforzo di taglio allo SLU agente.

Con riferimento all'armatura trasversale**,** la resistenza di calcolo a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0{,}9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (ctg\alpha + ctg\theta) \cdot sin\alpha$$

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di calcolo a "taglio compressione" si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0{,}9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (ctg\alpha + ctg\theta)/(1 + ctg^2\theta)$$

La resistenza al taglio della trave è la minore delle due sopra definite:

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

Le verifiche che devono essere soddisfatte in questo caso sono:

1) $V_{Ed} \leq V_{Rdc}$ per la verifica a compressione del calcestruzzo d'anima;
2) $V_{Ed} \leq V_{Rds}$ per la verifica a trazione delle armature trasversali;
3) $V_{Rds} \leq V_{Rdc}$ per la verifica delle condizioni di duttilità.

10.1.2.3 Verifica a punzonamento

In accordo al paragrafo *4.1.2.3.5.4 delle N.T.C.-2018* solette piene, solette nervate a sezione piena in corrispondenza di colonne, e fondazioni devono essere verificate nei riguardi del punzonamento allo stato limite ultimo, in corrispondenza di pilastri e di carichi concentrati.

Se, sulla base del calcolo, la resistenza a trazione del calcestruzzo sul perimetro efficace non è sufficiente per fornre la richiesta resistenza al punzonamento, vanno inserite apposite armature a taglio aggiuntive. Queste armature vanno estese fino al perimetro più esterno sul quale la resistenza a trazione del calcestruzzo risulta sufficiente. Per la valutazione della resistenza a punzonamento si può fare utile riferimento al *paragrafo 6.4.4 UNI EN1992-1-1* nel caso di assenza di armature a taglio, al *paragrafo 6.4.5* della norma *UNI EN1992-1-1* nel caso di presenza di armature a taglio.

10.1.3 Verifiche agli Stati Limite di Esercizio (SLE)

Anche se il progetto delle sezioni e delle armature di un elemento inflesso si effettua, di regola, per le sollecitazioni di stato limite ultimo (SLU), la verifica degli stati limite d'esercizio (SLE) può in molti casi limitare le scelte progettuali. Per evitare che una struttura progettata allo SLU non verifichi gli SLE è opportuno tener conto di questi ultimi nel definire i criteri di dimensionamento allo SLU della geometria degli elementi strutturali.

Gli stati limiti d'esercizio di cui tratta il D.M. 17.01.2018 riguardano quelle condizioni d'uso di una struttura che possono avere un risvolto diretto sulla fruibilità, ma non comportano pregiudizio per l'incolumità delle persone.

Valgono le seguenti considerazioni:

1) per la minor severità delle conseguenze legate al superamento di uno stato limite di esercizio i coefficienti di sicurezza parziali delle azioni hanno valore $\gamma_F = 1{,}0$ minore che allo stato limite ultimo. Analogamente per le resistenze si assume $\gamma_M = 1{,}0$. il calcolo dunque si basa sui valori "*caratteristici*" di azioni e resistenze. Per alcune grandezze meccaniche (modulo E, coefficiente di ritiro, ecc.) si adottano, anziché i valori caratteristici, i valori medi.
2) Per strutture non precompresse per la verifica di **limitazione delle tensioni** si utilizzano due combinazioni: la *combinazione di carico quasi permanente QP* e la *combinazione di carico caratteristica (rara) CA*. Per lo stato **limite di fessurazione** si utilizza, invece, la *combinazione di carico quasi permanente QP*.
3) Per i diversi stati limite di esercizio i valori da non superare sono fissati nella norma di riferimento (D.M. 17.01.2018) o nei capitolati, se legati alle condizioni d'uso di una particolare opera.
4) Per il calcolo degli effetti dei carichi (fessure, deformazioni, tensioni, ecc.) oggetto degli SLE si possono utilizzare modelli basati sul comportamento elastico lineare dei materiali. Per il calcestruzzo armato si può utilizzare il modello della sezione omogeneizzata parzializzata.

10.1.3.1 Verifica di fessurazione

La presenza di fessure nelle strutture inflesse di calcestruzzo armato non precompresso è

inevitabile tanto che è alla base dei modelli di calcolo delle strutture in c.a. (sezioni parzializzate). Ciò nonostante l'ampiezza delle fessure deve risultare limitata, oltre che per ragioni estetiche, soprattutto per non ridurre la protezione delle armature all'aggressività ambientale.

Il valore limite di apertura della fessura calcolato al livello considerato è pari ad uno dei seguenti valori nominali:

- $w_1 = 0{,}2$ mm;
- $w_2 = 0{,}3$ mm;
- $w_3 = 0{,}4$ mm.

Lo stato limite di fessurazione deve essere fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione, come descritto nel seguito.

Le condizioni ambientali, ai fini della protezione contro la corrosione delle armature metalliche, possono essere suddivise in ordinarie, aggressive e molto aggressive in relazione a quanto indicato nella *Tab. 4.1.III del D.M. 17.01.2018* con riferimento alle classi di esposizione definite nelle *Linee Guida per il calcestruzzo strutturale emesse dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici* – aggiornato settembre 2017.

Tabella 4.1.III – *Descrizione delle condizioni ambientali*

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Le armature si distinguono in due gruppi:
- armature sensibili, alle quali appartengono gli acciai da precompressione;
- armature poco sensibili, relative agli gli acciai ordinari.

Per gli acciai zincati e per quelli inossidabili si può tener conto della loro minor sensibilità alla corrosione.

Nella *Tab. 4.1.IV del D.M. 17.01.2018* sono indicati i criteri di scelta dello stato limite di fessurazione con riferimento alle esigenze sopra riportate.

Tabella 4.1.IV – *Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione*

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_d	Stato limite	w_d
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

Il valore di calcolo dell'apertura delle fessure w_d, da confrontare con i valori limite indicati nella tabella precedente, è ottenuto applicando la procedura proposta nel *paragrafo C4.1.2.2.4.5 del 21 gennaio 2019, n. 617 e s.m.i. (circolare applicativa N.T.C.-2018).*

Per le opere in progetto, caratterizzate da armature poco sensibili e da condizioni ambientali ordinarie verrà, quindi, cautelativamente sviluppata una verifica alla fessurazione, per la condizione "quasi permanente", con riferimento al limite "w_2", in modo tale da tenere prudenzialmente in conto i possibili effetti dovuti ai ripetuti cicli di gelo e disgelo all'azione dell'acqua, oltre che a possibili difetti esecutivi e riduzioni di copriferro localizzate.

10.1.3.2 Verifica delle tensioni di esercizio

La verifica delle tensioni in esercizio è effettuata nelle usuali ipotesi di comportamento lineare dei materiali, trascurando la resistenza a trazione del calcestruzzo teso. Valutate le azioni interne nelle varie parti della struttura, dovute alle combinazioni caratteristica e quasi permanente delle azioni, si calcolano le massime tensioni sia nel calcestruzzo sia nelle armature; si verifica che tali tensioni siano inferiori ai massimi valori consentiti indicati nel *paragrafo. 4.1.2.2.5. del D.M. 17.01.2018.*

La massima tensione di compressione del calcestruzzo σ_c, deve, in particolare, rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_c < 0{,}60\ f_{ck} \text{ per combinazione di carico caratteristica (rara);}$$

$$\sigma_c < 0{,}45\ f_{ck} \text{ per combinazione di carico quasi permanente.}$$

La massima tensione di trazione per l'acciaio dell'armatura tesa σ_s, deve, invece, rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_s < 0{,}80\ f_{yk}$$

Nei calcoli per azioni di breve durata può assumersi il valore del modulo di elasticità del

calcestruzzo E_c dato dall'*equazione 11.2.5 delle N.T.C. – D.M. 17.01.2018*, ed un modulo di elasticità dell'acciaio E_s pari a 210.000 N/mm^2. Tale valore può essere opportunamente ridotto nel caso di fili, trecce e trefoli da cemento armato precompresso.

Nel caso di azioni di lunga durata, gli effetti della viscosità del calcestruzzo si possono tenere in conto riducendo opportunamente il modulo di elasticità E_c mediante l'introduzione del coefficiente di viscosità ϕ definito al *paragrafo 11.2.10.7 delle N.T.C.* in funzione del grado di umidità relativa ambientale.

10.2 Valutazione delle azioni

Le azioni considerate ai fini dei dimensionamenti strutturali delle opere in progetto sono così riassumibili:

1) carichi permanenti dovuti al peso proprio dei materiali strutturali;

2) carichi permanenti portati, non strutturali;

3) azioni variabili (sovraccarichi) relativi alla destinazione d'uso delle opere e alle relative condizioni di esercizio;

4) azione idrostatica e idrodinamica dell'acqua contenuta nei vari manufatti;

5) spinta delle terre a tergo delle opere, valutata in condizioni sismiche;

6) azione sismica, secondo il grado di sismicità caratteristico del sito di costruzione: zona sismica 3 ai sensi O.P.C.M. n. 3274/2003 e ss.mm.ii..

Per quanto riguarda le opere caratterizzate da una prevalente collocazione entroterra e, in ogni caso, da un limitato sviluppo in altezza, considerata anche la loro funzione di esercizio (opere di presa e canalizzazione, pareti e muri contro-terra, ecc.), si è ritenuto congruo ed accettabile trascurare le azioni dovute **al vento ed alla neve**, in quanto praticamente ininfluente sul comportamento strutturale globale delle costruzioni in progetto (manufatto di alimentazione idrica e pozzetti interrati).

Viene, quindi, nel seguito riportata una descrizione dettagliata delle suddette azioni:

1) Peso proprio dei materiali strutturali

Relativamente a questa azione si andranno semplicemente a considerare tutte le parti delle opere aventi funzione strutturale e portante.

Peso proprio elementi strutturali:

- strutture in c.c.a.: $\gamma_{cls} = 25{,}0$ kN/m^3.
- strutture in acciaio da carpenteria: $\gamma_{acciaio} = 78{,}0$ kN/m^3.

2) Carichi permanenti portati

Sono considerati carichi permanenti non strutturali o portati i carichi non rimovibili durante il normale esercizio delle costruzioni, quali quelli pertinenti a passerelle e/o grigliati pedonali, organi di manovra e regolazione elettromeccanica, impianti vari, eventuali massi di cava eventualmente in corrispondenza dei manufatti, rivestimenti lapidei, pavimentazione stradale, ecc.. Essi sono stati valutati sulla base delle dimensioni effettive delle opere e dei pesi dell'unità di volume dei materiali costituenti. In linea di massima i carichi permanenti portati saranno assunti, per la verifica d'insieme, come uniformemente ripartiti o, a seconda dei casi, come carichi concentrati linearmente o nodali.

3) Azioni variabili

Sono costituite dai sovraccarichi verticali uniformemente distribuiti sostanzialmente pertinenti alle aree e zone pedonali accessibili per la manutenzione delle opere e per le operazioni di regolazione e gestione idrica. Tali azioni, con riferimento alla *tabella 3.1.II del D.M. 17.01.2018 (N.T.C.)*, sono state cautelativamente considerate pari a 2,00 kN/m^2. E' stato, inoltre, cautelativamente considerato un sovraccarico distribuito posto a tergo delle pareti dei manufatti pari a 10,00 kN/m^2, per simulare lo stazionamento provvisorio di mezzi d'opera durante l'attività di cantiere o i mezzi di manutenzione durante l'esercizio delle opere.

4) Azione idrostatica dell'acqua contenuta nei manufatti

I vari manufatti progettualmente previsti sono soggetti al carico variabile dovuto alla spinta idrostatica e al peso proprio esercitato rispettivamente sulle pareti perimetrali e sulla platea di fondazione delle opere. Il peso per unità di volume del liquido (acqua) che genera tali azioni sulle strutture in esame è stato assunto pari a $\gamma_{acqua} = 10{,}0$ kN/m^3.

Incremento dinamico della spinta dell'acqua in condizioni sismiche

L'incremento dinamico di spinta dell'acqua libera presente all'interno dei manufatti è stato calcolato secondo la teoria di *Westergaard*; nell'ipotesi di struttura di sostegno rigida a parete verticale, acqua incomprimibile e frequenza della sollecitazione armonica orizzontale applicata alla base minore della

frequenza fondamentale f_0 del serbatoio d'acqua infinitamente esteso (e.g. $f_0 = V_P/4H$ essendo V_P la velocità delle onde P nell'acqua ed H l'altezza dell'acqua) le pressioni idrodinamiche assumono la seguente distribuzione di pressione di aumento con la radice quadrata della profondità dell'acqua z':

$$q(z') = \pm\frac{7}{8} \cdot k_h \cdot \gamma_w \cdot \sqrt{H_w \cdot z'}$$

dove:

- k_h è il coefficiente di intensità sismica orizzontale;
- γ_w è peso per unità di volume dell'acqua;
- Hw è il livello massimo previsto entro il manufatto considerato;
- z' ordinata misurata a partire dal livello massimo Hw.

La spinta dinamica risultante dall'integrazione delle suddette pressioni vale, quindi:

$$E_w = \pm\frac{7}{12} \cdot k_h \cdot \gamma_w \cdot H_w^2$$

ed agisce a 0,4 H_w dalla base della struttura, come nel seguito rappresentato:

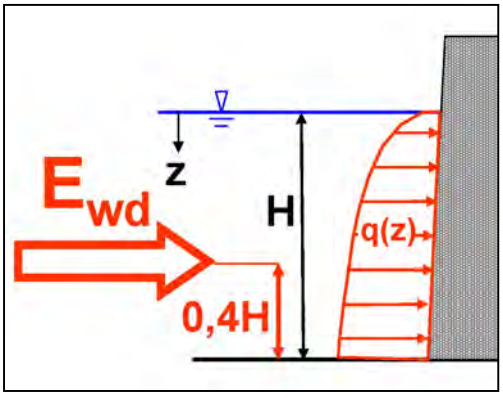


Figura 43 – Spinta idrodinamica dell'acqua in condizioni sismiche.

L'*Eurocodice 8* suggerisce di sommare alla spinta idrostatica quella idrodinamica considerandola sia in un verso che nell'altro e, quindi, una volta sommata e l'altra sottratta alla pressione idrostatica. L'incremento di spinta nelle combinazioni sismiche, verrà, pertanto, applicato considerandolo agente alternativamente lungo due direzioni tra loro ortogonali; si considereranno nello specifico come direzioni attive, le +X e le +Y, senza considerare le omologhe in direzione opposta, visto la apprezzabile simmetria della struttura ed anche in considerazione del fatto che i contributi apportati da tali spinte avranno intensità marginale se rapportati con quelli relativi alle altre azioni simultaneamente presenti.

5) Spinta delle terre

I manufatti in progetto verranno sollecitati dalle azioni verticali ed orizzontali rispettivamente trasmesse in fase di esercizio dal terreno di ricoprimento e da quello di rinfianco. Sulla base delle indicazioni fornite ai paragrafi precedenti sulle caratteristiche geomeccaniche del terreno e secondo i criteri dell'EC7 e delle N.T.C.-2018, nei calcoli di dimensionamento e verifica geotecnica e strutturale sono state assunte, per il terreno di fondazione alla quota di imposta delle fondazioni e a tergo delle opere in progetto, le caratteristiche geomeccaniche riportate nelle *tabelle 9a, 9b* e *9c* del paragrafo 4.3.

Si avranno, pertanto, le seguenti componenti di azione:

- Azione verticale dovuta al terreno di ricoprimento (applicata sullo sporto o sulla suola di monte della platea di fondazione delle opere):

$$q_{v,terreno} = \Delta h \cdot \gamma_t$$

in cui Δh è l'altezza del terreno di ricoprimento dell'opera e γ_t il relativo peso di volume.

- Azione orizzontale dovuta al terreno di rinfianco (applicata sulle pareti laterali dei manufatti e delle opere interrate):

tale azione si traduce in carico uniformemente distribuito variabile linearmente con la profondità, la cui risultante è una spinta S dipendente dalle caratteristiche geomeccaniche del terreno e per la cui determinazione ci si è avvalsi della teoria di Coulomb. Tale metodo ipotizza superfici di scorrimento piane passanti per la base della parete e le cui espressioni dei coefficienti di spinta possono essere ottenute analizzando l'equilibrio limite di un cuneo di terreno delimitato dal paramento interno della parete, dalla superficie di scorrimento e dalla superficie limite del terrapieno.

Il calcolo delle spinte con tale metodologia comporta l'assunzione delle seguenti ipotesi:

- materiale omogeneo ed isotropo dotato di solo attrito;
- superficie di rottura piana;
- superficie limite del terrapieno piana (anche inclinata ma non irregolare);
- resistenza di attrito uniformemente distribuita lungo la superficie di rottura;
- attrito non nullo tra terreno e muro;
- paramento del muro non necessariamente verticale;

- condizioni di stato di equilibrio limite;
- condizioni di rottura in stato di deformazione piana.

Pertanto per un terreno incoerente, in condizioni di assenza di falda, la spinta S del terreno può essere determinata con la seguente espressione:

$$S = \frac{1}{2} \cdot \gamma_t \cdot k_a \cdot h^2$$

mentre il carico distribuito avrà intensità massima, in corrispondenza del piede della parete, pari a:

$$q_{h,terreno} = k_a \cdot h \cdot \gamma_t$$

dove:

k_a = coefficiente di spinta attiva, determinato tramite l'equazione di *Muller – Breslau*:

$$k_a = \frac{\cos^2(\varphi' - \beta)}{\cos^2 \beta \cdot \cos(\beta + \delta)\left[1 + \sqrt{\frac{sen(\delta + \varphi') \cdot sen(\varphi' - i)}{\cos(\beta + \delta) \cdot \cos(\beta - i)}}\right]^2}$$

h = altezza della parte interrata di parete;

φ' = angolo di resistenza a taglio che caratterizza il terreno.

Incremento dinamico della spinta del terreno in condizioni sismiche

Ai fini dell'analisi della spinta delle terre sotto l'azione sismica, in riferimento alle indicazioni fornite dal *paragrafo 7.11.3.5.2* del D.M. 17.01.2018 e dall'Eurocodice 8 – parte 5 (UNI EN 1998-5), verrà utilizzato il metodo pseudo-statico di *Mononobe – Okabe*, quale estensione in campo dinamico del criterio di Coulomb precedentemente illustrato. Tale metodo considera che il cuneo di terreno compreso tra la superficie di rottura e la parete del muro ("cuneo di rottura") si comporti come un corpo rigido soggetto ad un'accelerazione orizzontale a_h e verticale a_v uniformi all'interno del cuneo.

L'azione sismica è, quindi, rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso W dell'opera di sostegno, del volume di terreno a tergo dell'opera stessa, supposto in stato di equilibrio limite attivo, e gli eventuali sovraccarichi agenti sul volume suddetto ed è dipendente dalle caratteristiche del moto sismico atteso nel volume di terreno potenzialmente instabile e dalla capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza.

Nelle verifiche allo stato limite ultimo, in mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale di tale forza possono esprimersi come $F_h = k_h \cdot W$ ed $F_v = k_v \cdot W$, con k_h e k_v rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0{,}5 \cdot k_h$$

dove:

βm = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità.

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima attesa al sito può essere valutata con la relazione:

$$a_{max} = S \cdot a_g = (S_S \cdot S_T) \cdot a_g$$

dove:

- S = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_S) e dell'amplificazione topografica (S_T) del sito;
- a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.
- β_m è un fattore di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito, dipendente dallo spostamento ammissibile dell'opera e definito dal *paragrafo 7.11.6.2.1 delle N.T.C.-2018,* pari a 0,38 nelle verifiche a stato limite ultimo (SLV) e pari a 0,47 nelle verifiche a stato limite di esercizio (SLD). Per le verifiche a ribaltamento i suddetti valori vanno incrementati del 50%. Per pareti o muri impediti di muoversi β_m è posto = 1,0.

Detto W il peso del cuneo di rottura, l'effetto sismico è, quindi, portato in conto come una forza statica equivalente di componenti $k_h W$ in orrizontale e $\pm k_v W$ in verticale.

Essendo le opere in progetto delle strutture rigide, con pareti verticali e terrapieno orizzontale, l'azione di incremento dinamico della spinta del terreno vale, pertanto:

$$q_{Sh,terreno} = k_h \cdot h \cdot \gamma_t$$

$$q_{Vh,terreno} = \pm 0{,}5 \cdot k_h \cdot h \cdot \gamma_t$$

Pertanto il valore della spinta complessiva del terreno in condizioni sismiche (statica +

sismica) vale:

$$S_{tot} = \frac{1}{2} \cdot \gamma_t (1 \pm k_v) \cdot k_a \cdot h^2$$

Nel caso specifico, invece, in cui il terreno a tergo delle strutture possa essere considerato in condizioni prossime a quelle di riposo, ovvero per le strutture rigide a sezione scatolare previste per la realizzazione di scatolari, pozzetti e manufatti analoghi, l'incremento dovuto al sisma relativo al terreno è stato stimato attraverso l'espressione proposta da *Wood*, la quale risulta indipendente dai parametri di resistenza del terreno che si assume ancora in campo elastico e che, per tali tipi di strutture (rigide appunto) difficilmente raggiunge le condizioni limite di rottura:

$$\Delta S = \frac{a_g}{g} \cdot S_s \cdot \gamma \cdot H^2$$

con:

- a_g/g l'accelerazione sismica di progetto;
- S_s il fattore correttivo stratigrafico.

Il carico sismico sarà, in tal caso, equiparabile ad un carico distribuito applicato linearmente sulle pareti delle strutture, con intensità pari a:

$$q_{sis} = \Delta S / H$$

I **muri di sostegno** o le **pareti controterra,** incluse quelle dei pozzetti e dei manufatti interrati in progetto, devono soddisfare le condizioni di stabilità globale con i metodi di analisi di cui al *§ 7.11.6.2.1* delle N.T.C.-2018 e le verifiche di sicurezza di cui ai *§ 6.5.3.1.1 e 7.11.6.2.2*, nelle quali si richiede il rispetto della *condizione 6.2.1* delle N.T.C.-2018, con le prescrizioni di cui al *§ 7.11.1*. Le azioni da considerare nelle analisi di sicurezza delle fondazioni sono fornite dalla spinta esercitata dal terrapieno, dalle azioni gravitazionali permanenti e dalle azioni inerziali agenti nel muro, nel terreno e negli eventuali sovraccarichi. In aggiunta all'analisi della sicurezza nei confronti dello stato limite ultimo, devono essere condotte verifiche nei confronti dello stato limite di danno. In particolare, gli spostamenti permanenti indotti dal sisma devono essere compatibili con la funzionalità dell'opera e con quella di eventuali strutture o infrastrutture interagenti con essa.

Spinta del terreno in presenza di falda

In presenza di falda o di interferenza delle lavorazioni e delle fasi di cantiere con il livello idrico dell'invaso, per la porzione di terreno posta al di sotto di quest'ultimo, verrà applicata un'aliquota di

spinta esercitata dal terreno, da valutarsi in termini di tensioni efficaci, e da un'aliquota aggiuntiva dovuta dall'azione dall'acqua in termini idrostatici.

Si evidenzia, inoltre, in considerazione delle caratteristiche litologiche e stratigrafiche del terreno in sito, che l'azione esercitata a tergo delle pareti delle strutture, è stata cautelativamente valutata assumendo il terreno permeabile in condizioni dinamiche di falda, portando in conto, oltre all'azione idrostatica della falda, anche l'effetto idrodinamico, determinato sempre tramite l'espressione di *Westergaard* precedentemente riportata.

Dunque, la spinta complessiva assunta nei calcoli, in condizioni sismiche, al di sotto della potenza di falda e con terreno permeabile in condizioni dinamiche di quest'ultima, risulta data dalla seguente espressione:

$$S_{tot} = \frac{1}{2} \cdot \gamma_t (1 \pm k_v) \cdot k_a \cdot h^2 + \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot H^2 + E_{wd}$$

10.2.1 Azione sismica

Con la Delibera di Giunta Regionale n. 146 del 6/2/2023 la Regione Emilia-Romagna ha approvato l'aggiornamento della classificazione sismica introdotta dall'O.P.C.M. 3274/2003.

L'intervento da eseguire, sito in località Molinazzo in comune di Alseno, ricade interamente nel territorio comunale di Alseno (codice ISTAT 33032) al quale corrisponde un livello di pericolosità (zona sismica) pari a 3.



Regione Emilia-Romagna

Allegato A

CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI COMUNI DELL'EMILIA-ROMAGNA

Provincia	Codice ISTAT	COMUNE	Classificazione sismica
PC	33001	AGAZZANO	3
PC	33002	ALSENO	3

Figura 44 – Estratto dall'Allegato A - Delibera di Giunta Regionale n. 146 del 06/02/2023.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008 e relativa circolare applicativa e, quindi, le NT.C.-2018 hanno, introdotto un nuovo criterio, "sito-dipendente", per la valutazione

delle azioni sismiche attese al sito. La determinazione dei parametri di riferimento dell'azione sismica è stata effettuata in relazione alle coordinate del sito di intervento, in Comune di Alseno, in cui ricadono l'opera in progetto.

L'azione sismica di base è valutata partendo dalle mappe di pericolosità sismica redatte dall'INGV e disponibili on line insieme ad un applicativo per la determinazione delle caratteristiche spettrali delle componenti elastiche orizzontali e verticali e per quelle di progetto (Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 'Azioni Sismiche, Spettri di Risposta', versione 1.03, disponibile on line sulla web page del CSLP).

Ottemperando alle prescrizioni di cui al paragrafo 3.2 del Decreto Ministeriale 17.01.2018 e in relazione alle specificità litografiche e stratigrafiche del sito desumibili dalle prove in sito disponibili, sono stati definiti i seguenti parametri dell'azione e della pericolosità sismica del sito di progetto:

- sito di intervento: Comune di Alseno (PC)
- coordinate del sito nel sistema di riferimento adottato dalla regione Emilia-Romagna: ETRS89 / UTM zone 32N (EPSG 25832): X = 572305,89 - Y = 4970285,70
  Longitudine: 9,916633° Latitudine: 44,883392°
- categoria del sottosuolo: B (*)
- categoria topografica: T1
- amplificazione topografica: $S_T = 1,0$

(*) Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Il periodo di riferimento V_R per l'azione sismica permette di definire i livelli di sicurezza e delle prestazioni attese per l'opera in progetto:

- vita nominale VN: 50 anni
- classe d'uso: classe II
- coefficiente d'uso della costruzione C_U: 1.0
- periodo di riferimento dell'azione sismica VR: 50 anni

Stati limite considerati nelle verifiche, in relazione all'azione sismica:

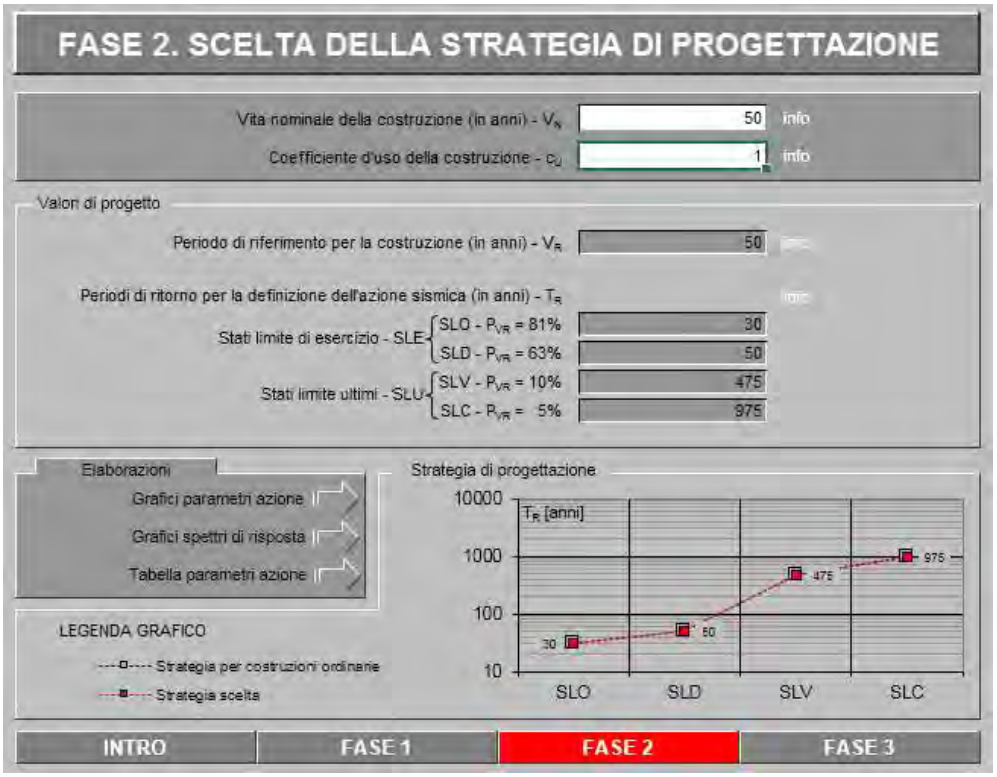
- SLD: stato limite di esercizio di danno, con probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR pari all'63%.
- SLV: stato limite ultimo di salvaguardia della vita, con probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR pari al 10%.

Nel seguito si riporta la caratterizzazione sismica specifica per il sito oggetto di intervento ottenuta impiegando l'applicativo reso disponibile al CSLP:

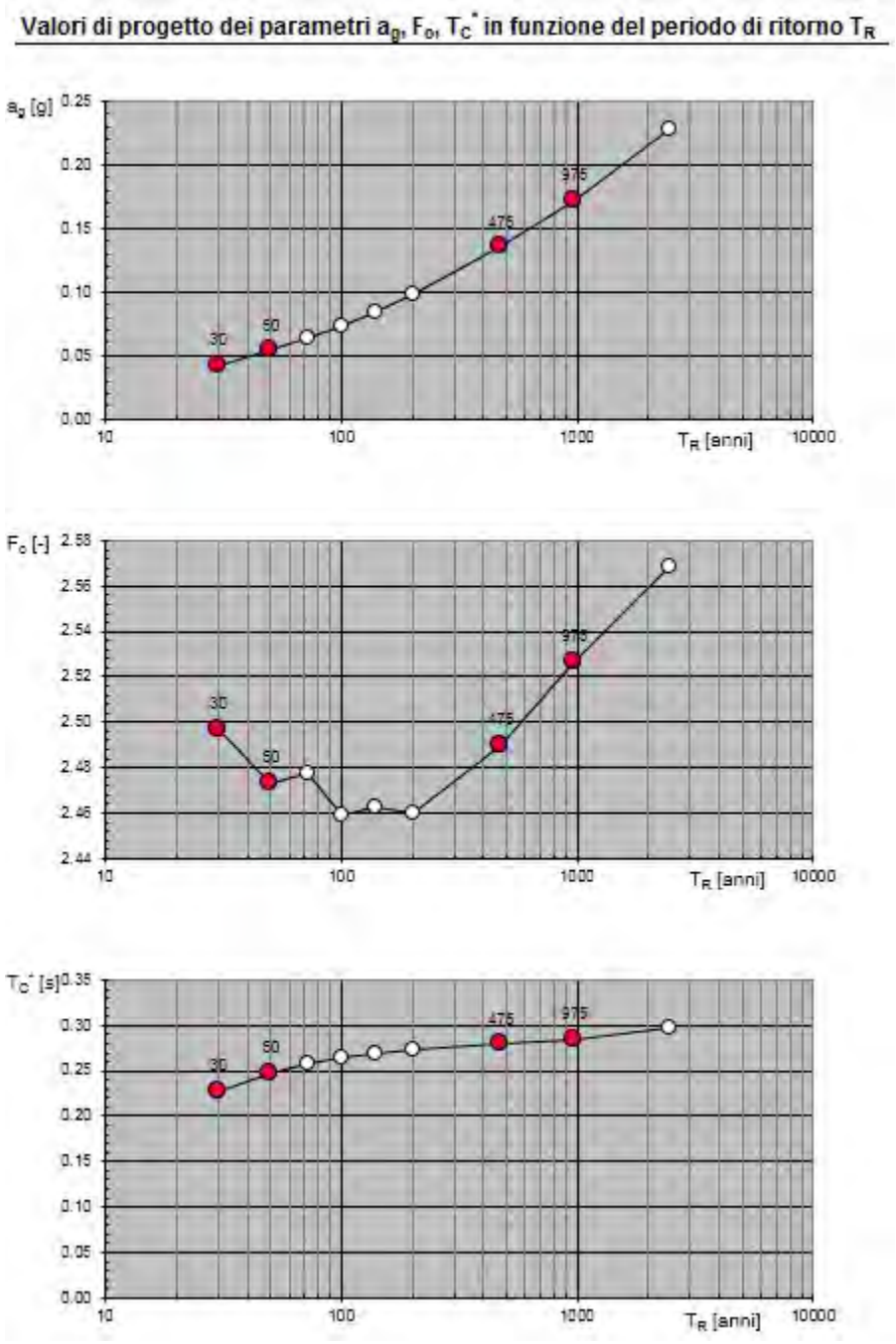
Individuazione del sito di intervento



Valori dei parametri ag, F0 e TC* per i periodi di ritorno TR associati a ciascuno S.L.



Grafici parametri azione



Grafici spettri di risposta

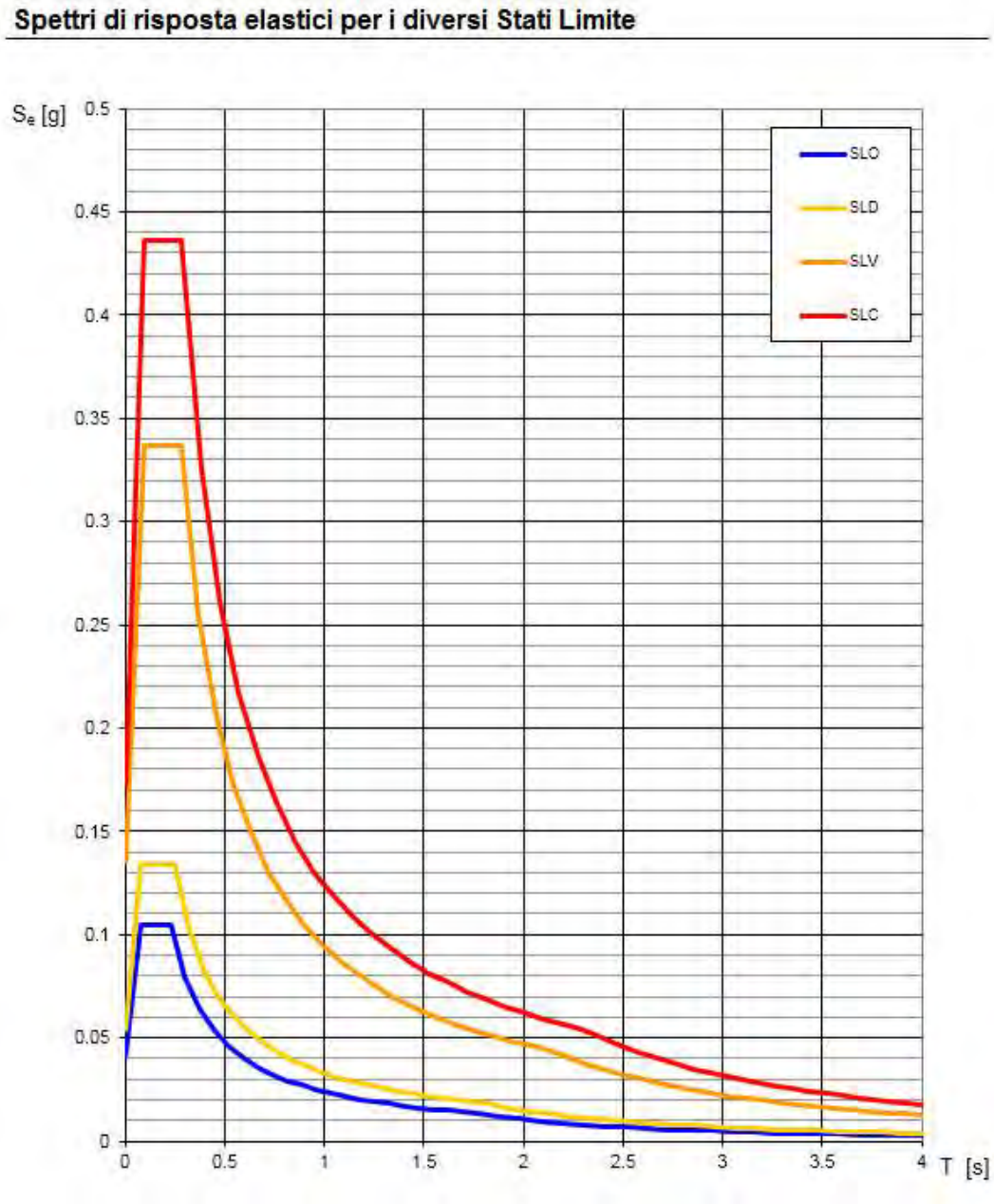
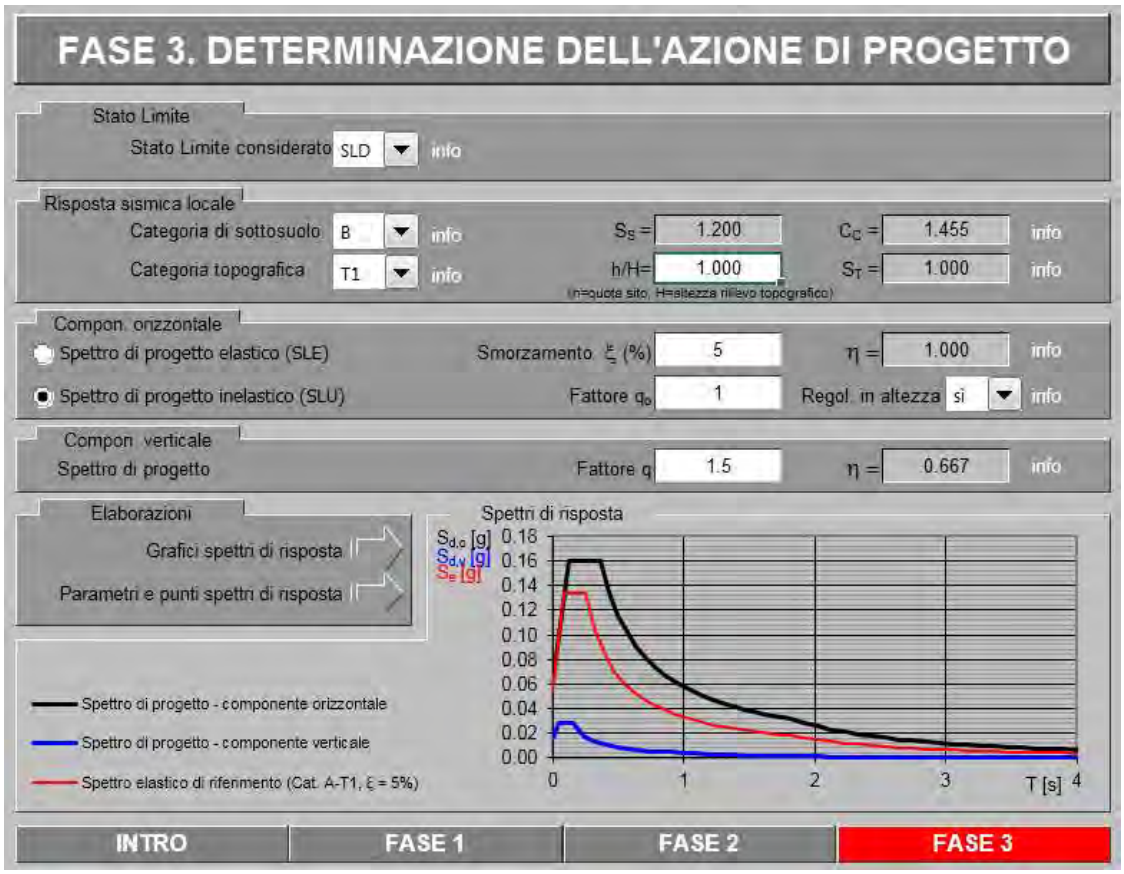


Tabella parametri azione

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0.042	2.497	0.228
SLD	50	0.054	2.473	0.247
SLV	475	0.135	2.490	0.279
SLC	975	0.172	2.526	0.285

10.2.1.1 Stato limite di danno (SLD)



Componente orizzontale

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_g	0.054 g
F_o	2.473
T_C^*	0.247 s
S_S	1.200
C_C	1.455
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.200
η	1.000
T_B	0.120 s
T_C	0.359 s
T_D	1.816 s

Componente verticale

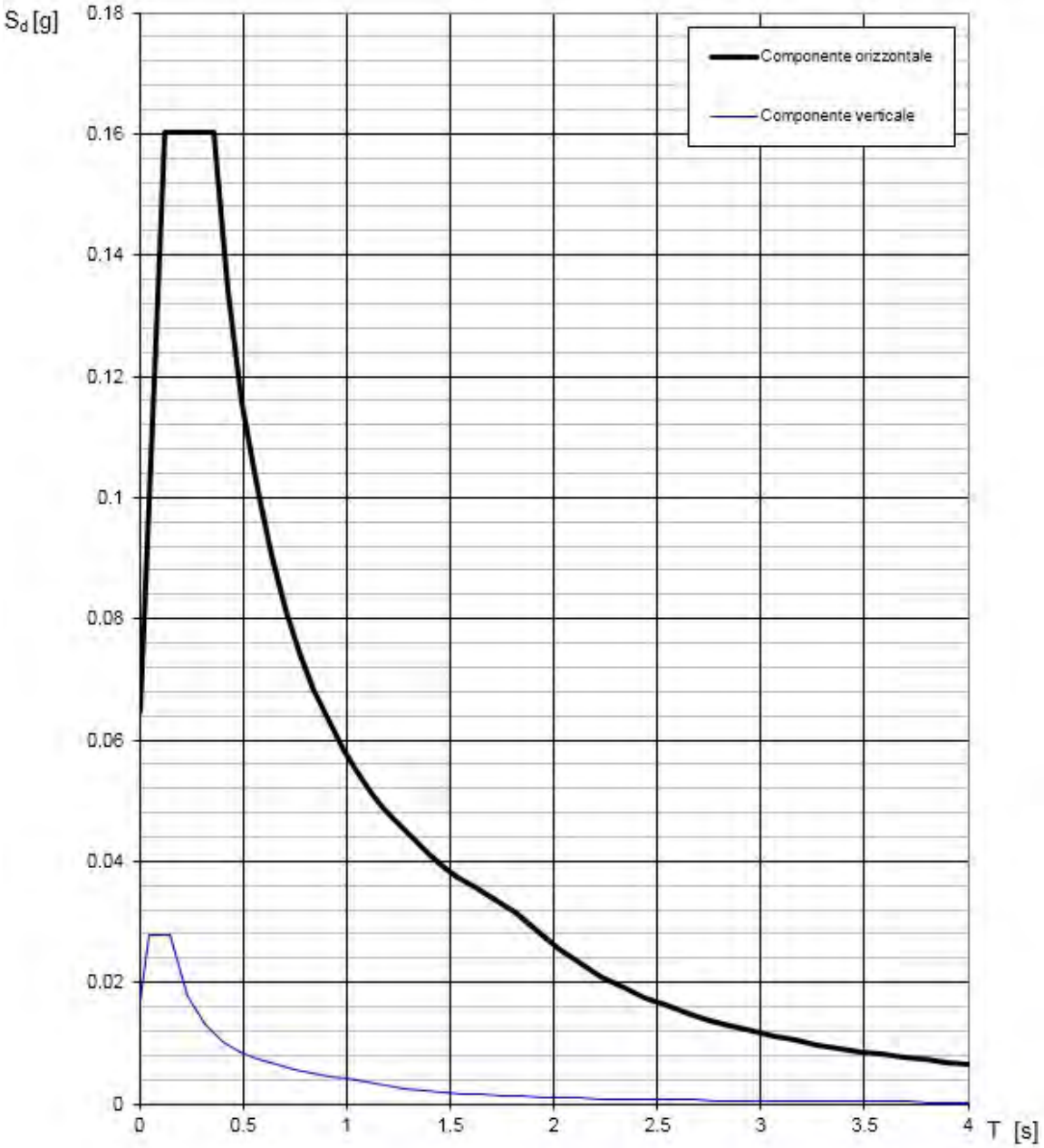
Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_{gv}	0.017 g
S_S	1.000
S_T	1.000
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

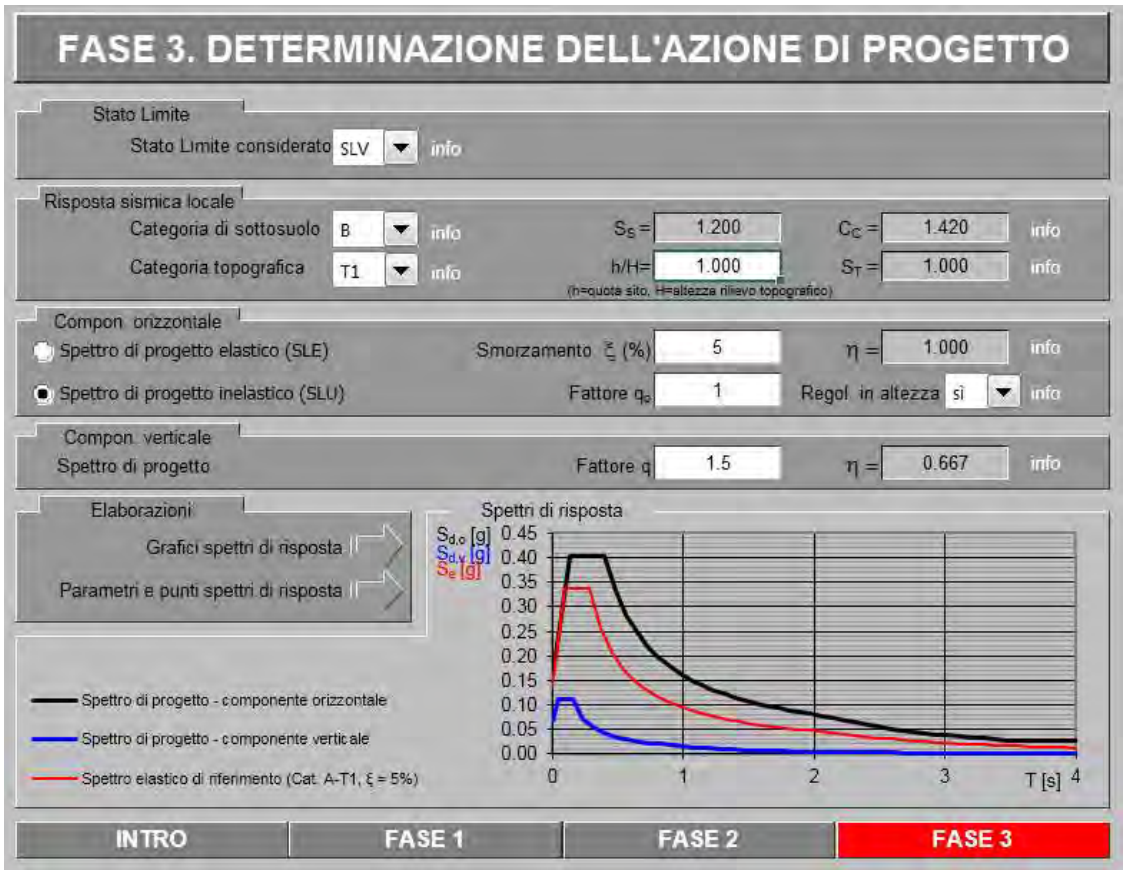
Parametri dipendenti

F_v	0.776
S	1.000
η	0.667

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLD



10.2.1.2 Stato limite di salvaguardia della vita (SLV)



Componente orizzontale

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.135 g
F_o	2.490
T_C^*	0.279 s
S_S	1.200
C_C	1.420
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.200
η	1.000
T_B	0.132 s
T_C	0.396 s
T_D	2.141 s

Componente verticale

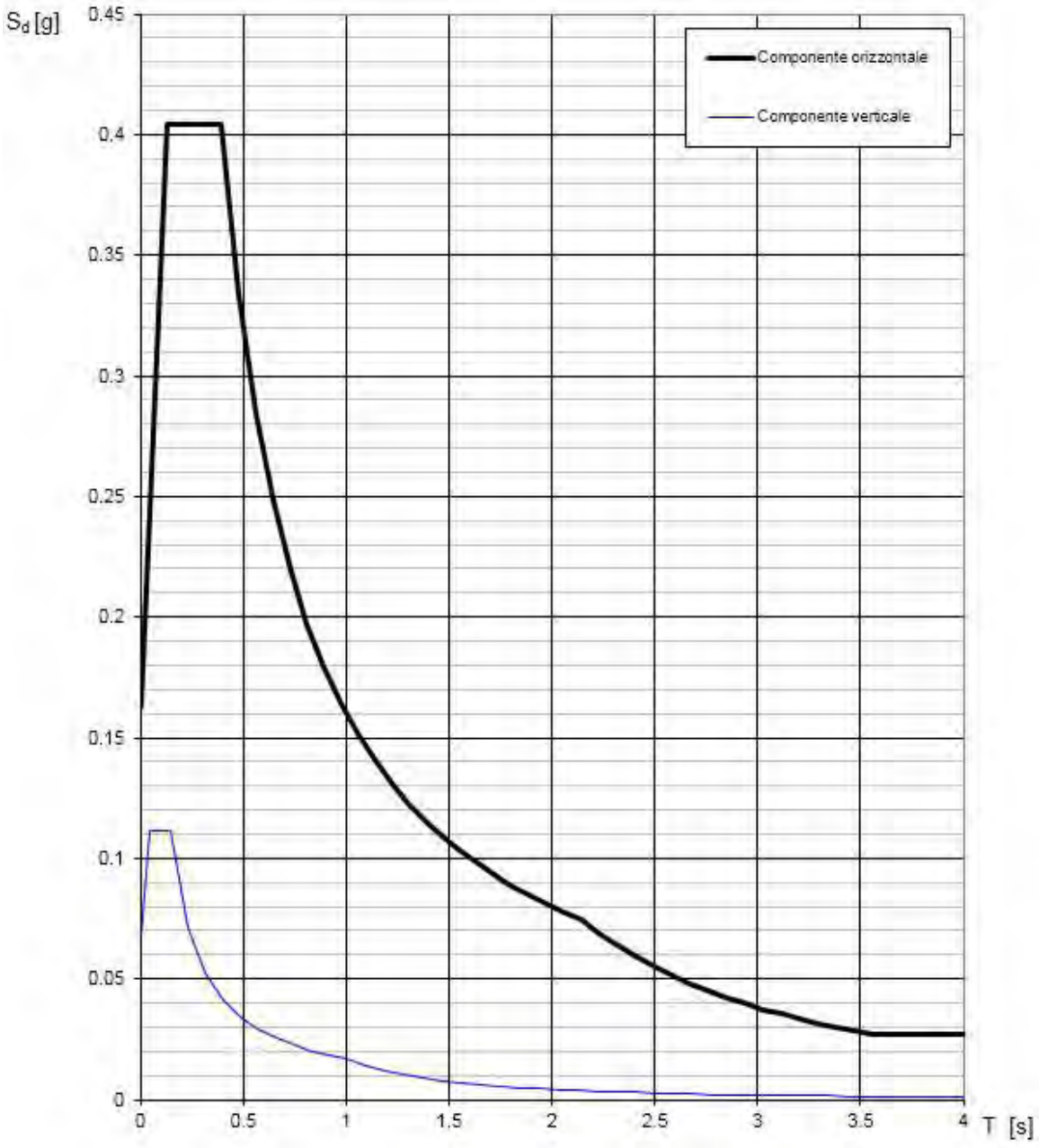
Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{gv}	0.067 g
S_S	1.000
S_T	1.000
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	1.236
S	1.000
η	0.667

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



Si possono, quindi, riepilogare i valori dell'accelerazione sismica di progetto, ovvero della pericolosità sismica di progetto, relative al manufatto di alimentazione dell'invaso:

- accelerazione sismica orizzontale di riferimento a SLD: $a_g = 0{,}054$ g.
- accelerazione sismica orizzontale di riferimento a SLV: $a_g = 0{,}135$ g.
- accelerazione sismica orizzontale massima di progetto a SLV (pericolosità sismica di progetto a SLV): $a_{g,max} = S_s \times S_T \times a_{g(SLV)} = 1{,}2 \times 1{,}0 \times 0{,}135\ g \cong 0{,}162$ g.

10.3 Combinazioni di carico

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni:

- Combinazione fondamentale, per gli stati limite ultimi (SLU):

$$SD = \gamma_{G1}\, G_1 + \gamma_{G2}\, G_2 + \gamma_P\, P + \gamma_{Q1}\, Q_{k1} + \gamma_{Q2}\, \Psi_{02}\, Q_{k2} + \gamma_{Q3}\, \Psi_{03}\, Q_{k3} + \ldots$$

- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili:

$$SD = G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \Psi_{02}\, Q_{k2} + \Psi_{03}\, Q_{k3} + \ldots$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$SD = G_1 + G_2 + P + \Psi_{11}\, Q_{k1} + \Psi_{22}\, Q_{k2} + \Psi_{23}\, Q_{k3} + \ldots$$

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$SD = G_1 + G_2 + P + \Psi_{21}\, Q_{k1} + \Psi_{22}\, Q_{k2} + \Psi_{23}\, Q_{k3} + \ldots$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$SD = E + G_1 + G_2 + P + \Psi_{21}\, Q_{k1} + \Psi_{22}\, Q_{k2} + \ldots$$

Nelle combinazioni per SLE, si intende che vengono omessi i carichi Q_{kj} che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi G2.

I coefficienti parziali per le azioni utilizzati nelle verifiche a SLU sono, in genere:

Tab. 2.6.I – *Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU*

		Coefficiente γ_F	EQU	A1	A2
Carichi permanenti G_1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali G_2[(1)]	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Il valore dei coefficienti di combinazione usati sono, invece, i seguenti:

Categoria/Azione variabile	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Si evidenzia che le azioni dovute alla spinta del terreno (interrimento delle strutture) e alla spinta dell'acqua sono state, a favore di sicurezza, combinate con un coefficiente pari a 1,5 anziché 1,3 come eventualmente consentito dal *paragrafo 6.2.4.1.1 delle NTC-18* e dal *paragrafo C.8 del D.M. 26.06.2014*.

Relativamente all'azione sismica E, da prendersi in conto in un'apposita situazione di progetto sismica (combinazione sismica), essa è stata schematizzata applicando, non contemporaneamente, in due direzioni ortogonali un sistema di forze orizzontali sismiche di intensità proporzionale alle masse della costruzione. Ai fini delle masse inerziali per il calcolo dell'azione "E", nei modelli di calcolo sono stati considerati il peso proprio delle costruzioni, tutti i carichi permanenti portati e, aggiuntivamente, a favore di sicurezza, il sovraccarico del terreno posto a tergo delle opere.

Ai fini della combinazione sismica sono state, quindi, considerate le masse associate ai

seguenti carichi gravitazionali:

$$G_k + P_k + \sum(\Psi_2 Q_k)$$

dove:

Ψ_2 coefficiente di combinazione dell' azione variabile Q_k, che tiene conto della ridotta probabilità che tutti i carichi variabili siano simultaneamente presenti sull'intera struttura in occasione del sisma.

10.4 Modelli di calcolo e di verifica

La modellazione e il calcolo finalizzato al dimensionamento e alle verifiche strutturali e geotecniche nonché la valutazione della sicurezza globale delle costruzioni in progetto sono stati effettuati tramite modelli di calcolo semplificati conformemente alle N.T.C.-2018. In tal senso le analisi e i calcoli di verifica delle **costruzioni in progetto, caratterizzate da una semplice concezione strutturale**, da un limitato sviluppo dimensionale e geometricamente simmetriche, sono stati effettuati, con l'ausilio di modelli numerici semplificati, considerando cautelativamente i vari manufatti ed opere di tipo geotecnico con schema resistente a sezione verticale ad "U" o ad "L", alla stregua di pareti incastrate in fondazione, riconducendoli, pertanto, ad uno schema statico di tipo "a mensola".

I risultati delle sollecitazioni di calcolo stati opportunamente verificati tramite modelli di valutazione semplificati con riferimento sia allo stato limite ultimo che agli stati limite di esercizio sia a scopo di riscontro numerico che al fine della **validazione** e della verifica di **attendibilità dei risultati** stessi secondo quanto previsto dalle N.T.C..

10.5 Risultati di calcolo e dimensionamento strutturale e geotecnico

Si riportano nel seguito la modellazione e le verifiche di carattere geotecnico e strutturale dell'opera, per le sezioni A-A e B-B, come descritto nei corrispondenti elaborati grafici progettuali (*rif. tavola D11)*, per le combinazioni di verifica più gravose ai sensi del capitolo 6 delle N.T.C.-2018 e considerando, a favore di sicurezza, uno schema statico simmetrico di parete incastrata in fondazione.

Ai fini delle verifiche sono stati considerati cautelativamente e a favore di sicurezza, i

parametri (angolo di attrito e coesione) del terreno riferiti all'orizzonte I per il terrapieno e i parametri del terreno dell'orizzonte II per quanto riguarda i dati del terreno di fondazione. A tergo del manufatto è stato applicato un sovraccarico pari variabile da 10 kN/m^2 a simulazione dei carichi stradali trasmessi dallo stazionamento dei mezzi d'opera in fase di cantiere o in fase di esercizio della costruzione.

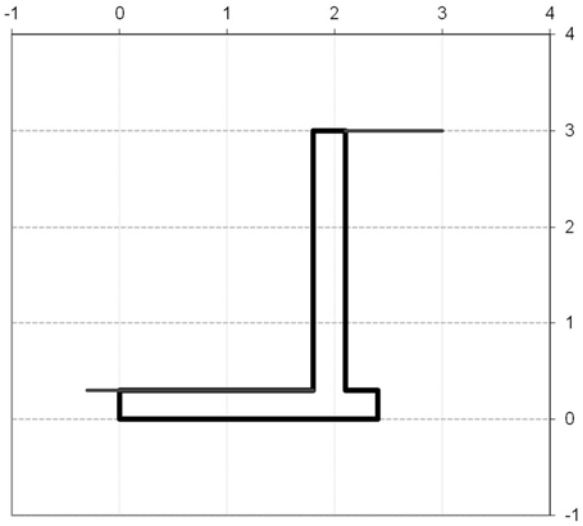
La falda è stata considerata a quota – 4.0 m rispetto al piano campagna.

Non sono state svolte verifiche a scorrimento e a stabilità globale in quanto la struttura risulta confinata da tutti e 4 i lati dal terreno e simmetrica e, come tali, risultano prive di significato e valenza fisica.

Vengono, quindi, nel seguito riportati i principali risultati di calcolo **per la combinazione A1+M1+R3** prevista dal cap. 6 delle N.T.C.-2018 con l'inviluppo delle sollecitazioni massime e le relative verifiche a **stato limite ultimo e a stato limite di esercizio,** dalle quali si evince come **tutte le verifiche strutturali possono ritenersi adeguatamente soddisfatte con valori di tensione nei materiali compatibili con l'uso previsto dell'opera e contenute entro il 45% di f_{ck} per il calcestruzzo ed entro l' 80% di f_{yk} per l'acciaio. Le verifiche a fessurazione risultano, altresì, soddisfatte nel rispetto dei limiti previsti da normativa per le condizioni di esercizio frequente e quasi permanente.**

Si riportano, inoltre, anche la stima dei **cedimenti** e delle pressioni trasmesse al terreno per la condizione di esercizio con le relative verifiche a **capacità portante** del sistema terreno-fondazione.

VERIFICHE GEOTECNICHE (SEZ. A- A) – COMBINAZIONE A1+M1+R3



OPERA Manufatto di alimentazione - sezione A-A

Combinazioni coefficienti parziali di verifica

SLU	Approccio 1	comb. 1	A1+M1+R1 EQU+M2	○
		comb. 2	A2+M2+R2 EQU+M2	○
	Approccio 2		A1+M1+R3 EQU+M2	○
SLE (DM88)				○
N.T.C.-2018 - A1+M1+R3				◉

Peso Specifico del Calcestruzzo	γ_{cls} =	25.00	(kN/m3)

Carichi	Effetto	Coeff. Parziale	EQU	A1 (STR)	A2 (GEO)	SLE	NTC-18
Permanenti	favorevole	γ_G	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00
	sfavorevole		1.10	1.30	1.00	1.00	1.30
Variabili	favorevole	γ_Q	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	sfavorevole		1.50	1.50	1.30	1.00	1.50

Parametro		Coeff. Parziale	M1	M2	SLE	NTC-18
angolo d'attrito	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1.00	1.25	1.00	1.00
coesione	c'_k	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25	1.00	1.00
resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1.00	1.40	1.00	1.00
peso unità di volume	γ	γ_γ	1.00	1.00	1.00	1.00

Verifica	Coeff. Parziale	R1	R2	R3	SLE	NTC-18
Capacità portante fondazione	γ_R	1.00	1.00	1.40	2.00	1.40
Scorrimento		1.00	1.00	1.10	1.30	1.10
Ribaltamento		1.00	1.00	1.00	1.50	1.15

Dati Geotecnici

				valori caratteristici SLE	valori di progetto STR/GEO	valori di progetto EQU
Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	(°)	φ'	27.80	27.80	27.80
	Peso Unità di Volume del terrapieno	(kN/m³)	γ'	20.00	20.00	20.00
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	(°)	δ	18.00	18.00	18.00
Dati Terreno Fondazione	Condizioni			◉ drenate ○ Non Drenate		
	Coesione Terreno di Fondazione	(kPa)	c1'	5.00	5.00	5.00
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione	(°)	φ1'	27.80	27.80	27.80
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	(kN/m³)	γ1	20.00	20.00	20.00
	Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione	(kN/m³)	γd	20.00	20.00	20.00
	Profondità "Significativa" (n.b.: consigliata H = 2*B)	(m)	Hs	4.00		
	Modulo di deformazione	(kN/m²)	E	20000		

Dati Sismici	Accelerazione sismica (SLV)	a_g/g	0.135	(-)
	Coefficiente Amplificazione Stratigrafico	S_S	1.2	(-)
	Coefficiente Amplificazione Topografico	S_T	1	(-)
	Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima	β_m	1	(-)
	Coefficiente sismico orizzontale	kh	0.1620	(-)
	Coefficiente sismico verticale	kv	0.0810	(-)
	Muro libero di traslare o ruotare		○ si ◉ no	

			SLE		STR/GEO		EQU	
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva Statico	ka	0.324		0.324		0.324	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma +	kas+	0.439		0.439		0.439	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma -	kas-	0.464		0.464		0.464	
	Coeff. Di Spinta Passiva	kp	2.748		2.748		2.748	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma +	kps+	2.485		2.485		2.485	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma -	kps-	2.436		2.436		2.436	

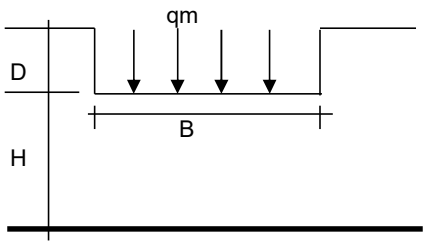
Carichi Agenti

					valori caratteristici SLE - sisma	valori di progetto STR/GEO	valori di progetto EQU
Carichi permanenti	Sovraccarico permanente	(kN/m²)	qp		0.00	0.00	0.00
	Sovraccarico su zattera di monte ○ si ◉ no						
	Forza Orizzontale in Testa permanente	(kN/m)	fp		0.00	0.00	0.00
	Forza Verticale in Testa permanente	(kN/m)	vp		0.00	0.00	0.00
	Momento in Testa permanente	(kNm/m)	mp		0.00	0.00	0.00
Condizioni Statiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche	(kN/m²)	q		0.00	0.00	0.00
	Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni statiche	(kN/m)	f		0.00	0.00	0.00
	Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni statiche	(kN/m)	v		0.00	0.00	0.00
	Momento in Testa accidentale in condizioni statiche	(kNm/m)	m		0.00	0.00	0.00
	Coefficienti di combinazione condizione frequente Ψ1			0.70	condizione quasi permanente Ψ2		0.60
Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	(kN/m²)	qs		0.00		
	Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni sismiche	(kN/m)	fs		0.00		
	Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni sismiche	(kN/m)	vs		0.00		
	Momento in Testa accidentale in condizioni sismiche	(kNm/m)	ms		0.00		

Coefficienti di sicurezza

	Scorrimento	Ribaltamento	Carico limite
Statico	**verificato**	**12.28**	**2.67**
Sismico	**verificato**	**3.20**	**1.49**

CEDIMENTO DELLA FONDAZIONE



$\delta = \mu 0 * \mu 1 * qm * B^* / E$ (Christian e Carrier, 1976)

	N	63.47	(kN/m)
	M	-15.26	(kNm/m)
	e=M/N	-0.24	(m)
	B*	1.92	(m)
Profondità Piano di Posa della Fondazione	D =	0.30	(m)
	D/B* =	0.16	(m)
	Hs/B* =	2.08	(m)
Carico unitario medio (qm)	qm = N / (B - 2*e) = N / B* =	34.48	(kN/mq)
Coefficiente di forma $\mu 0$ = f(D/B)	$\mu 0$ =	0.955	(-)
Coefficiente di profondità $\mu 1$ = f(H/B)	$\mu 1$ =	0.68	(-)
Cedimento della fondazione	$\delta = \mu 0 * \mu 1 * qm * B^* / E$ =	2.15	(mm)

Dai risultati ottenuti dalle verifiche geotecniche si possono, pertanto, cautelativamente stimare valori di cedimento massimo dell'ordine di pochi millimetri. I cedimenti differenziali a lungo termine nell'ambito della superficie della platea di fondazione si mantengono, inoltre, nell'ordine di pochi millimetri. Tali valori, anche con riferimento ai coefficienti di sicurezza assunti ed in relazione alla normativa vigente e alla letteratura tecnica in materia di costruzioni possono, dunque, essere ritenuti del tutto compatibili ed ammissibili per l'esercizio e la funzionalità delle opere progettualmente previste.

Inoltre le verifiche a carico limite risultano soddisfatte con un sufficiente margine di sicurezza. Le pressioni trasmesse al terreno di fondazione, anche con riferimento ai coefficienti di sicurezza assunti possono, in tal senso, essere ritenute compatibili ed ammissibili con l'esercizio e la funzionalità delle opere in progetto.

VERIFICHE STRUTTURALI (SEZ. A-A) – COMBINAZIONE A1+M1+R3

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI

Calcestruzzo

classe cls: C25/30

Rck	30	(MPa)
fck	25	(MPa)
fcm	33	(MPa)
Ec	31476	(MPa)
α_{cc}	0.85	
γc	1.50	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma c$	14.17	(MPa)
$f_{ctm} = 0.30 * f_{ck}^{2/3}$	2.56	(MPa)

Acciaio

tipo di acciaio: B450C

fyk =	450	(MPa)
γs =	1.15	
fyd = fyk / γs / γE =	391.30	(MPa)
Es =	210000	(MPa)
ε_{ys} =	0.19%	

Tensioni limite (N.T.C.-2018)

condizioni statiche

σ_c	11.25	Mpa
σ_f	360	Mpa

condizioni sismiche

σ_c	11.25	Mpa
σ_f	391	Mpa

coefficiente omogeneizzazione acciaio n = 15

Copriferro (distanza asse armatura-bordo)

c = 4.50 (cm)

Copriferro minimo di normativa (ricoprimento armatura)

c_{min} = 3.50 (cm)

Valore limite di apertura delle fessure

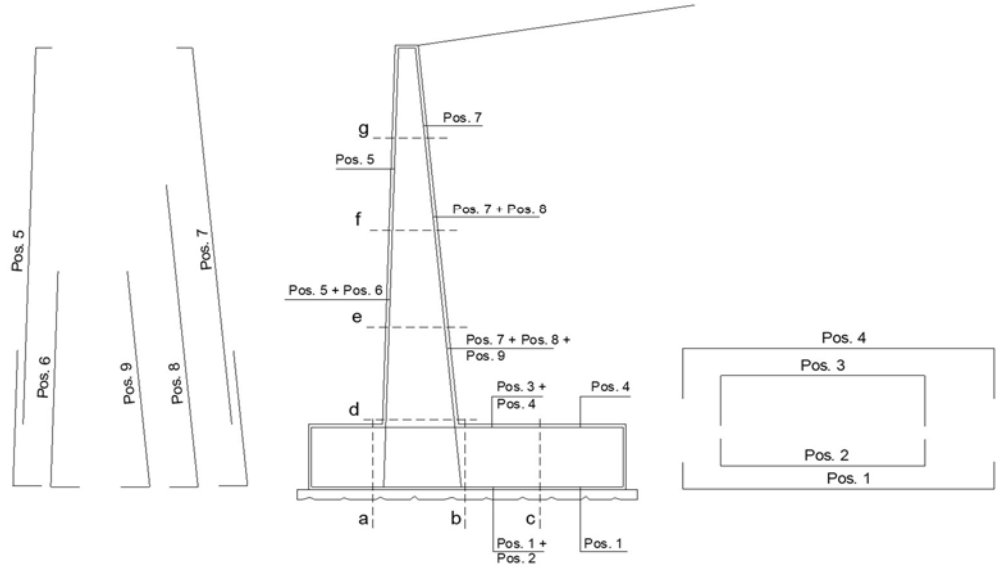
Frequente	w3	0.4	mm
Quasi Permanente	w2	0.3	mm

Interferro tra I e II strato

i_{I-II} 5.00 (cm)

VERIFICHE A STATO LIMITE ULTIMO

SCHEMA DELLE ARMATURE

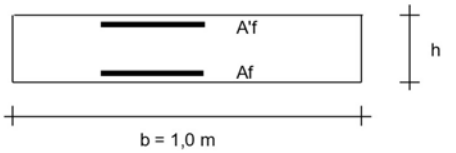


ARMATURE

pos	n°/ml	ϕ	II strato	pos	n°/ml	ϕ	II strato
1	5.0	12		5	5.0	12	
2			☐	6	5.0	12	☐
3			☐	7	5.0	12	
4	5.0	12		8			☐
				9	5.0	12	☐

Calcola

VERIFICHE



a-a	pos 1-2-3-4
b-b	pos 1-2-3-4
c-c	pos 1-4
d-d	pos 5-6-7-8-9
e-e	pos 5-6-7-8-9
f-f	pos 5-7-8
g-g	pos 5-7

Sez.	M	N	h	Af	A'f	Mu
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm^2)	(cm^2)	(kNm)
a - a	42.06	0.00	0.30	5.65	5.65	56.85
b - b	-5.88	0.00	0.30	5.65	5.65	56.85
c - c	-2.46	0.00	0.30	5.65	5.65	56.85
d - d	39.47	21.89	0.30	5.65	5.65	59.28
e -e	17.27	16.42	0.30	5.65	5.65	58.67
f - f	5.49	10.95	0.30	5.65	5.65	58.06
g - g	0.82	5.47	0.30	5.65	5.65	57.46

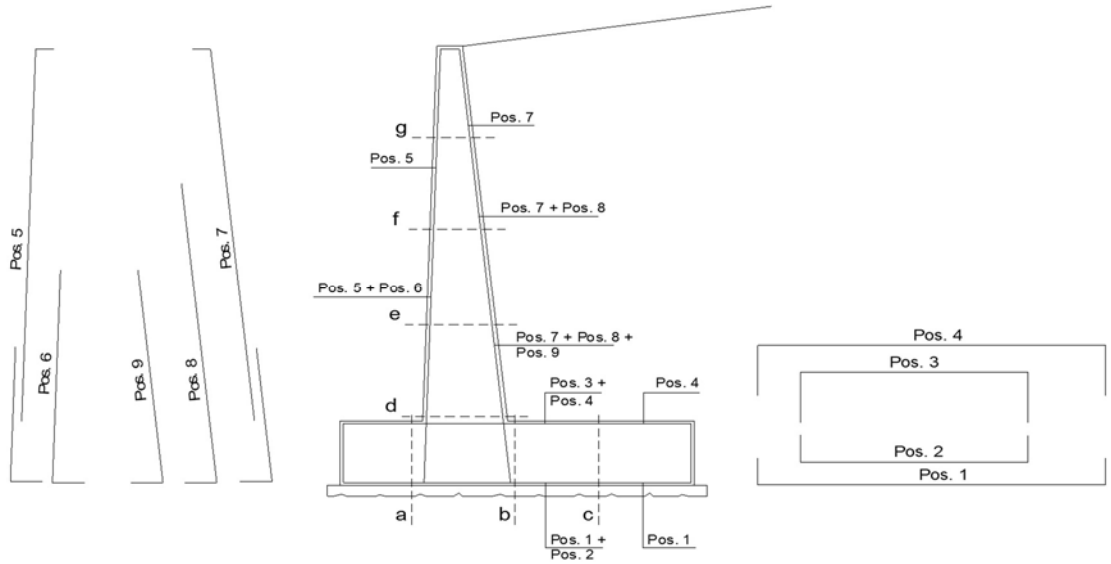
(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

Sez.	V_{Ed}	h	V_{rd}	ø staffe	i orizz.	i vert.	θ	V_{Rsd}	
(-)	(kN)	(m)	(kN)	(mm)	(cm)	(cm)	(°)	(kN)	
a - a	38.42	0.30	115.55	8	40	40	21.8	70.53	**Armatura a taglio non necessaria**
b - b	25.94	0.30	115.55	8	40	40	21.8	70.53	**Armatura a taglio non necessaria**
c - c	19.64	0.30	115.55	8	40	40	21.8	70.53	**Armatura a taglio non necessaria**
d - d	36.73	0.30	118.34	8	40	40	21.8	70.53	**Armatura a taglio non necessaria**
e -e	21.27	0.30	117.64	8	40	40	21.8	70.53	**Armatura a taglio non necessaria**
f - f	10.00	0.30	116.94	8	40	40	21.8	70.53	**Armatura a taglio non necessaria**
g - g	2.91	0.30	116.24	8	40	40	21.8	70.53	**Armatura a taglio non necessaria**

VERIFICHE A STATO LIMITE DI ESERCIZIO

Verifica a fessurazione

SCHEMA DELLE ARMATURE

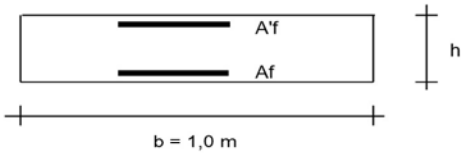


ARMATURE

pos	n°/ml	ϕ	II strato	pos	n°/ml	ϕ	II strato
1	5.0	12		5	5.0	12	
2			☐	6	5.0	12	☐
3			☐	7	5.0	12	
4	5.0	12		8			☐
				9	5.0	12	☐

Calcola

VERIFICHE



a-a	pos 1-2-3-4
b-b	pos 1-2-3-4
c-c	pos 1-4
d-d	pos 5-6-7-8-9
e-e	pos 5-6-7-8-9
f-f	pos 5-7-8
g-g	pos 5-7

condizione Frequente

Sez.	M	N	h	Af	A'f	σc	σf	wk	w_{amm}
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm^2)	(cm^2)	(N/mm^2)	(N/mm^2)	(mm)	(mm)
a - a	17.81	0.00	0.30	5.65	5.65	2.54	134.19	0.163	0.400
b - b	-3.63	0.00	0.30	5.65	5.65	0.52	27.33	0.033	0.400
c - c	-1.58	0.00	0.30	5.65	5.65	0.22	11.87	0.014	0.400
d - d	20.23	20.25	0.30	5.65	5.65	2.99	133.40	0.159	0.400
e -e	8.54	15.19	0.30	5.65	5.65	1.26	50.41	0.059	0.400
f - f	2.53	10.13	0.30	5.65	5.65	0.34	10.30	0.012	0.400
g - g	0.32	5.06	0.30	5.65	5.65	0.04	-0.03	0.000	0.400

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

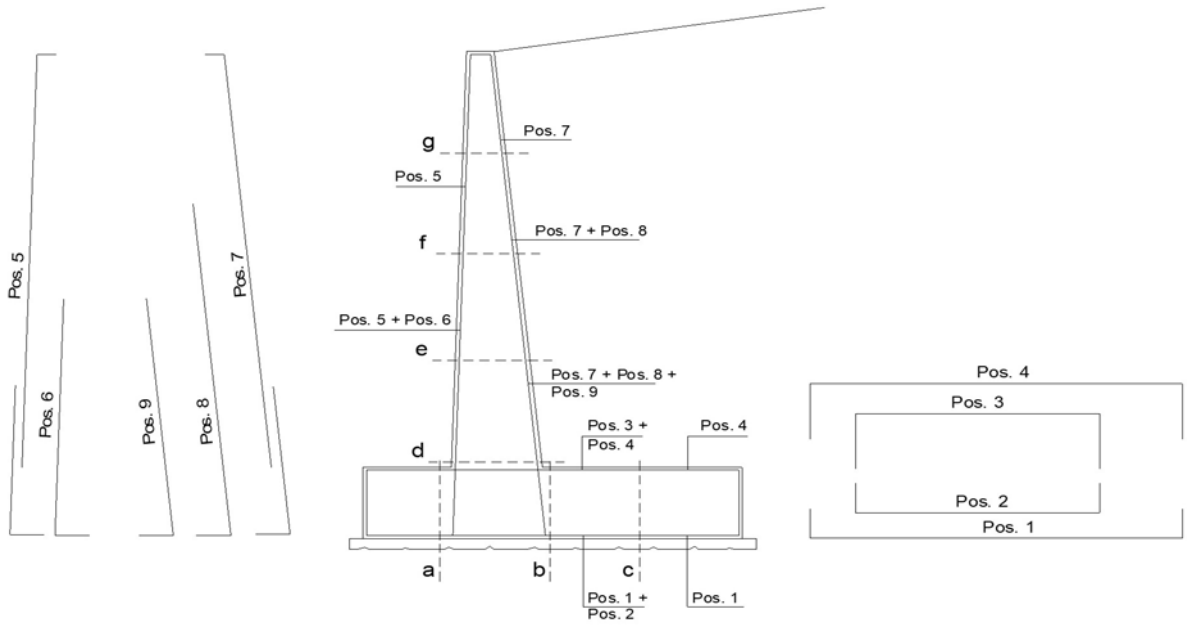
condizione Quasi Permanente

Sez.	M	N	h	Af	A'f	σc	σf	wk	w_{amm}
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm^2)	(cm^2)	(N/mm^2)	(N/mm^2)	(mm)	(mm)
a - a	17.81	0.00	0.30	5.65	5.65	2.54	134.19	0.163	0.300
b - b	-3.63	0.00	0.30	5.65	5.65	0.52	27.33	0.033	0.300
c - c	-1.58	0.00	0.30	5.65	5.65	0.22	11.87	0.014	0.300
d - d	20.23	20.25	0.30	5.65	5.65	2.99	133.40	0.159	0.300
e -e	8.54	15.19	0.30	5.65	5.65	1.26	50.41	0.059	0.300
f - f	2.53	10.13	0.30	5.65	5.65	0.34	10.30	0.012	0.300
g - g	0.32	5.06	0.30	5.65	5.65	0.04	-0.03	0.000	0.300

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

Verifica tensioni nei materiali

SCHEMA DELLE ARMATURE

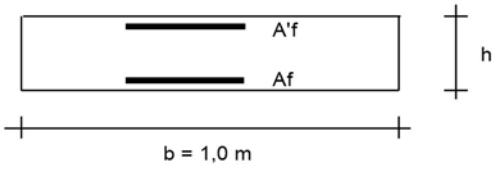


ARMATURE

pos	n°/ml	ϕ	II strato	pos	n°/ml	ϕ	II strato
1	5.0	12		5	5.0	12	
2			☐	6	5.0	12	☐
3			☐	7	5.0	12	
4	5.0	12		8			☐
				9	5.0	12	☐

Calcola

VERIFICHE



a-a	pos 1-2-3-4
b-b	pos 1-2-3-4
c-c	pos 1-4
d-d	pos 5-6-7-8-9
e-e	pos 5-6-7-8-9
f-f	pos 5-7-8
g-g	pos 5-7

Condizione Statica

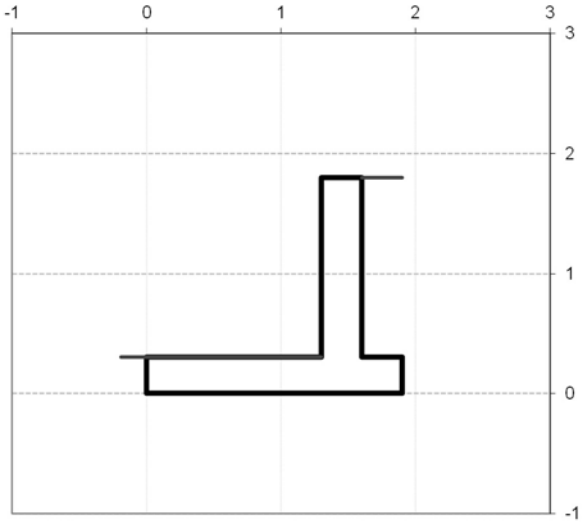
Sez.	M	N	h	Af	A'f	σc	σf
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm^2)	(cm^2)	(N/mm^2)	(N/mm^2)
a - a	17.81	0.00	0.30	5.65	5.65	2.54	134.19
b - b	-3.63	0.00	0.30	5.65	5.65	0.52	27.33
c - c	-1.58	0.00	0.30	5.65	5.65	0.22	11.87
d - d	20.23	20.25	0.30	5.65	5.65	2.99	133.40
e -e	8.54	15.19	0.30	5.65	5.65	1.26	50.41
f - f	2.53	10.13	0.30	5.65	5.65	0.34	10.30
g - g	0.32	5.06	0.30	5.65	5.65	0.04	-0.03

Condizione Sismica

Sez.	M	N	h	Af	A'f	σc	σf
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm^2)	(cm^2)	(N/mm^2)	(N/mm^2)
a - a	41.08	0.00	0.30	5.65	5.65	5.85	309.49
b - b	-5.88	0.00	0.30	5.65	5.65	0.84	44.34
c - c	-2.46	0.00	0.30	5.65	5.65	0.35	18.57
d - d	39.47	18.61	0.30	5.65	5.65	5.81	279.02
e -e	17.27	13.96	0.30	5.65	5.65	2.55	116.86
f - f	5.49	9.30	0.30	5.65	5.65	0.78	33.01
g - g	0.82	4.65	0.30	5.65	5.65	0.11	2.34

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

VERIFICHE GEOTECNICHE (SEZ. B- B) – COMBINAZIONE A1+M1+R3



OPERA Manufatto di alimentazione - sezione B-B

Combinazioni coefficienti parziali di verifica

SLU	Approccio 1	comb. 1	A1+M1+R1 EQU+M2	○
		comb. 2	A2+M2+R2 EQU+M2	○
	Approccio 2		A1+M1+R3 EQU+M2	○
SLE (DM88)				○
N.T.C.-2018 - A1+M1+R3				◉

Peso Specifico del Calcestruzzo	γ_{cls} =	25.00	(kN/m3)

Carichi	Effetto	Coeff. Parziale	EQU	A1 (STR)	A2 (GEO)	SLE	NTC-18
Permanenti	favorevole	γ_G	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00
	sfavorevole		1.10	1.30	1.00	1.00	1.30
Variabili	favorevole	γ_Q	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	sfavorevole		1.50	1.50	1.30	1.00	1.50

Parametro		Coeff. Parziale	M1	M2	SLE	NTC-18
angolo d'attrito	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1.00	1.25	1.00	1.00
coesione	c'_k	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25	1.00	1.00
resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1.00	1.40	1.00	1.00
peso unità di volume	γ	γ_γ	1.00	1.00	1.00	1.00

Verifica	Coeff. Parziale	R1	R2	R3	SLE	NTC-18
Capacità portante fondazione	γ_R	1.00	1.00	1.40	2.00	1.40
Scorrimento		1.00	1.00	1.10	1.30	1.10
Ribaltamento		1.00	1.00	1.00	1.50	1.15

Dati Geotecnici

				valori caratteristici SLE	valori di progetto STR/GEO	valori di progetto EQU
Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	(°)	φ'	27.80	27.80	27.80
	Peso Unità di Volume del terrapieno	(kN/m³)	γ'	20.00	20.00	20.00
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	(°)	δ	18.00	18.00	18.00
Dati Terreno Fondazione	Condizioni			◉ drenate ○ Non Drenate		
	Coesione Terreno di Fondazione	(kPa)	c1'	5.00	5.00	5.00
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione	(°)	φ1'	27.80	27.80	27.80
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	(kN/m³)	γ1	20.00	20.00	20.00
	Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione	(kN/m³)	γd	20.00	20.00	20.00
	Profondità "Significativa" (n.b.: consigliata H = 2*B)	(m)	Hs	4.00		
	Modulo di deformazione	(kN/m²)	E	20000		

Dati Sismici	Accelerazione sismica (SLV)	a_g/g	0.135	(-)
	Coefficiente Amplificazione Stratigrafico	S_S	1.2	(-)
	Coefficiente Amplificazione Topografico	S_T	1	(-)
	Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima	β_m	1	(-)
	Coefficiente sismico orizzontale	kh	0.1620	(-)
	Coefficiente sismico verticale	kv	0.0810	(-)
	Muro libero di traslare o ruotare	○ si ◉ no		

			SLE		STR/GEO		EQU	
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva Statico	ka	0.324		0.324		0.324	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma +	kas+	0.439		0.439		0.439	
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma -	kas-	0.464		0.464		0.464	
	Coeff. Di Spinta Passiva	kp	2.748		2.748		2.748	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma +	kps+	2.485		2.485		2.485	
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma -	kps-	2.436		2.436		2.436	

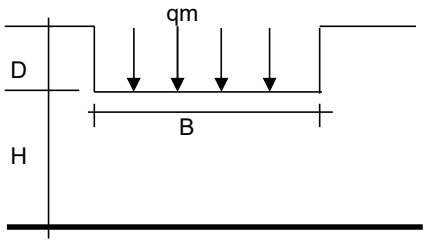
Carichi Agenti

				valori caratteristici SLE - sisma	valori di progetto STR/GEO	valori di progetto EQU
Carichi permanenti	Sovraccarico permanente	(kN/m²)	qp	0.00	0.00	0.00
	Sovraccarico su zattera di monte ○ si ◉ no					
	Forza Orizzontale in Testa permanente	(kN/m)	fp	0.00	0.00	0.00
	Forza Verticale in Testa permanente	(kN/m)	vp	0.00	0.00	0.00
	Momento in Testa permanente	(kNm/m)	mp	0.00	0.00	0.00
Condizioni Statiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche	(kN/m²)	q	10.00	15.00	15.00
	Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni statiche	(kN/m)	f	0.00	0.00	0.00
	Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni statiche	(kN/m)	v	0.00	0.00	0.00
	Momento in Testa accidentale in condizioni statiche	(kNm/m)	m	0.00	0.00	0.00
	Coefficienti di combinazione condizione frequente Ψ1		0.70	condizione quasi permanente Ψ2		0.60
Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	(kN/m²)	qs	0.00		
	Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni sismiche	(kN/m)	fs	0.00		
	Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni sismiche	(kN/m)	vs	0.00		
	Momento in Testa accidentale in condizioni sismiche	(kNm/m)	ms	0.00		

Coefficienti di sicurezza

	Scorrimento	Ribaltamento	Carico limite
Statico	**verificato**	**21.43**	**3.27**
Sismico	**verificato**	**5.56**	**4.22**

CEDIMENTO DELLA FONDAZIONE



$\delta = \mu 0 * \mu 1 * qm * B^* / E$ (Christian e Carrier, 1976)

	N	39.01	(kN/m)
	M	-7.62	(kNm/m)
	e=M/N	-0.20	(m)
	B*	1.51	(m)
Profondità Piano di Posa della Fondazione	D =	0.30	(m)
	D/B* =	0.20	(m)
	Hs/B* =	2.65	(m)
Carico unitario medio (qm)	qm = N / (B - 2*e) = N / B* =	27.44	(kN/mq)
Coefficiente di forma $\mu 0$ = f(D/B)	$\mu 0$ =	0.953	(-)
Coefficiente di profondità $\mu 1$ = f(H/B)	$\mu 1$ =	0.79	(-)
Cedimento della fondazione	$\delta = \mu 0 * \mu 1 * qm * B^* / E$ =	1.56	(mm)

Dai risultati ottenuti dalle verifiche geotecniche si possono, pertanto, cautelativamente stimare valori di cedimento massimo dell'ordine di pochi millimetri. I cedimenti differenziali a lungo termine nell'ambito della superficie della platea di fondazione si mantengono, inoltre, nell'ordine di pochi millimetri. Tali valori, anche con riferimento ai coefficienti di sicurezza assunti ed in relazione alla normativa vigente e alla letteratura tecnica in materia di costruzioni possono, dunque, essere ritenuti del tutto compatibili ed ammissibili per l'esercizio e la funzionalità delle opere progettualmente previste.

Inoltre le verifiche a carico limite risultano soddisfatte con un sufficiente margine di sicurezza. Le pressioni trasmesse al terreno di fondazione, anche con riferimento ai coefficienti di sicurezza assunti possono, in tal senso, essere ritenute compatibili ed ammissibili con l'esercizio e la funzionalità delle opere in progetto.

VERIFICHE STRUTTURALI (SEZ. B- B) – COMBINAZIONE A1+M1+R3

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI

Calcestruzzo

classe cls	C25/30		
Rck		30	(MPa)
fck		25	(MPa)
fcm		33	(MPa)
Ec		31476	(MPa)
α_{cc}		0.85	
γc		1.50	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma c$		14.17	(MPa)
$f_{ctm} = 0.30 * f_{ck}^{2/3}$		2.56	(MPa)

Acciaio

tipo di acciaio	B450C		
fyk =		450	(MPa)
γs =		1.15	
fyd = fyk / γs / γE =		391.30	(MPa)
Es =		210000	(MPa)
ε_{ys} =		0.19%	

Tensioni limite (N.T.C.-2018)

condizioni statiche

σ_c	11.25	Mpa
σ_f	360	Mpa

condizioni sismiche

σ_c	11.25	Mpa
σ_f	391	Mpa

coefficiente omogeneizzazione acciaio n = 15

Copriferro (distanza asse armatura-bordo)

c = 4.50 (cm)

Copriferro minimo di normativa (ricoprimento armatura)

c_{min} = 3.50 (cm)

Valore limite di apertura delle fessure

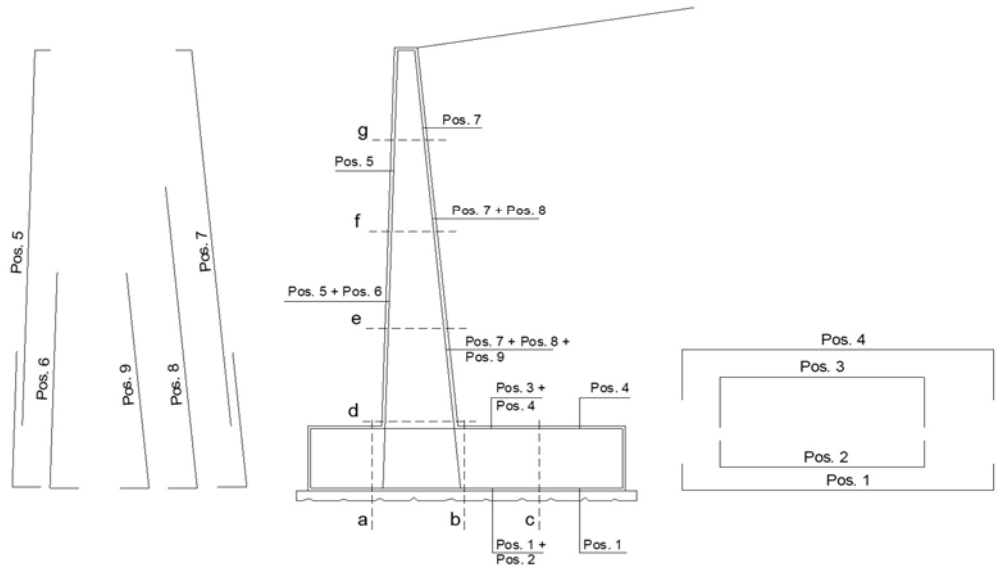
Frequente	w3	0.4	mm
Quasi Permanente	w2	0.3	mm

Interferro tra I e II strato

i_{I-II} 5.00 (cm)

VERIFICHE A STATO LIMITE ULTIMO

SCHEMA DELLE ARMATURE

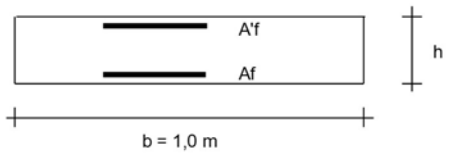


ARMATURE

pos	n°/ml	ϕ	II strato	pos	n°/ml	ϕ	II strato
1	5.0	12		5	5.0	12	
2			☐	6	5.0	12	☐
3			☐	7	5.0	12	
4	5.0	12		8			☐
				9	5.0	12	☐

Calcola

VERIFICHE



a-a	pos 1-2-3-4
b-b	pos 1-2-3-4
c-c	pos 1-4
d-d	pos 5-6-7-8-9
e-e	pos 5-6-7-8-9
f-f	pos 5-7-8
g-g	pos 5-7

Sez.	M	N	h	Af	A'f	Mu
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm^2)	(cm^2)	(kNm)
a - a	8.99	0.00	0.30	5.65	5.65	56.85
b - b	-2.84	0.00	0.30	5.65	5.65	56.85
c - c	-1.22	0.00	0.30	5.65	5.65	56.85
d - d	9.71	11.25	0.30	5.65	5.65	58.10
e -e	4.83	8.44	0.30	5.65	5.65	57.79
f - f	1.86	5.63	0.30	5.65	5.65	57.47
g - g	0.40	2.81	0.30	5.65	5.65	57.16

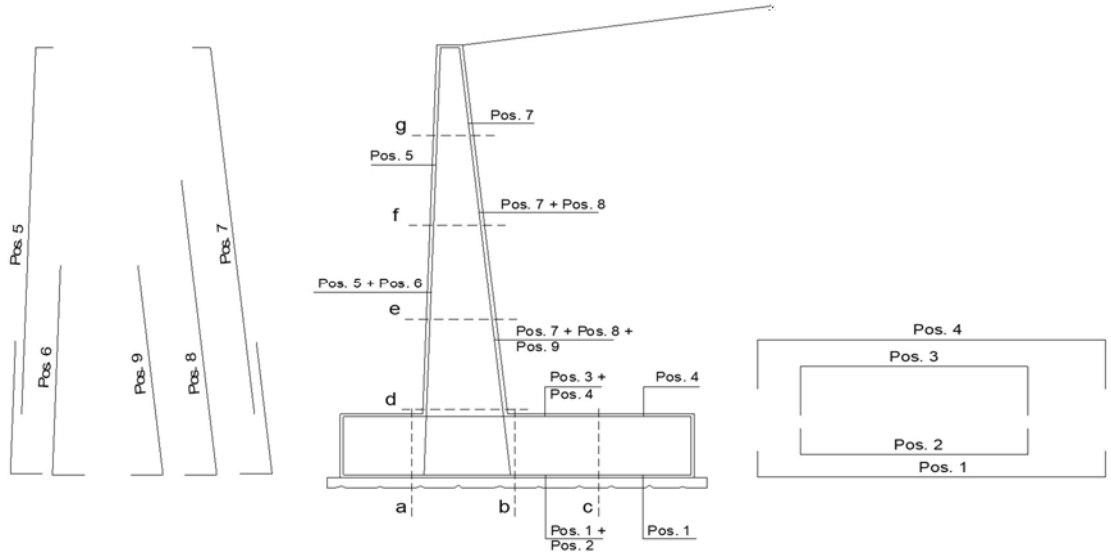
(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

Sez.	V_{Ed}	h	V_{rd}	ø staffe	i orizz.	i vert.	θ	V_{Rsd}	
(-)	(kN)	(m)	(kN)	(mm)	(cm)	(cm)	(°)	(kN)	
a - a	16.72	0.30	115.55	8	40	40	21.8	70.53	**Armatura a taglio non necessaria**
b - b	12.18	0.30	115.55	8	40	40	21.8	70.53	**Armatura a taglio non necessaria**
c - c	9.40	0.30	115.55	8	40	40	21.8	70.53	**Armatura a taglio non necessaria**
d - d	15.96	0.30	116.98	8	40	40	21.8	70.53	**Armatura a taglio non necessaria**
e -e	10.28	0.30	116.62	8	40	40	21.8	70.53	**Armatura a taglio non necessaria**
f - f	5.72	0.30	116.26	8	40	40	21.8	70.53	**Armatura a taglio non necessaria**
g - g	2.30	0.30	115.91	8	40	40	21.8	70.53	**Armatura a taglio non necessaria**

VERIFICHE A STATO LIMITE ESERCIZIO

Verifica a fessurazione

SCHEMA DELLE ARMATURE

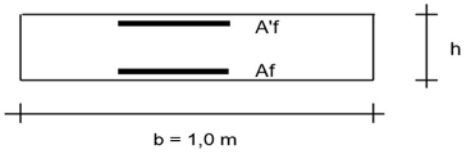


ARMATURE

pos	n°/ml	ϕ	II strato	pos	n°/ml	ϕ	II strato
1	5.0	12		5	5.0	12	
2			☐	6	5.0	12	☐
3			☐	7	5.0	12	
4	5.0	12		8			☐
				9	5.0	12	☐

Calcola

VERIFICHE



a-a	pos 1-2-3-4
b-b	pos 1-2-3-4
c-c	pos 1-4
d-d	pos 5-6-7-8-9
e-e	pos 5-6-7-8-9
f-f	pos 5-7-8
g-g	pos 5-7

condizione Frequente

Sez.	M	N	h	Af	A'f	σc	σf	wk	w_{amm}
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm^2)	(cm^2)	(N/mm^2)	(N/mm^2)	(mm)	(mm)
a - a	5.19	0.00	0.30	5.65	5.65	0.74	39.13	0.048	0.400
b - b	-1.76	0.00	0.30	5.65	5.65	0.25	13.26	0.016	0.400
c - c	-0.77	0.00	0.30	5.65	5.65	0.11	5.79	0.007	0.400
d - d	5.90	11.25	0.30	5.65	5.65	0.87	34.17	0.040	0.400
e -e	2.83	8.44	0.30	5.65	5.65	0.41	13.81	0.016	0.400
f - f	1.04	5.63	0.30	5.65	5.65	0.14	3.13	0.003	0.400
g - g	0.21	2.81	0.30	5.65	5.65	0.02	0.02	0.000	0.400

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

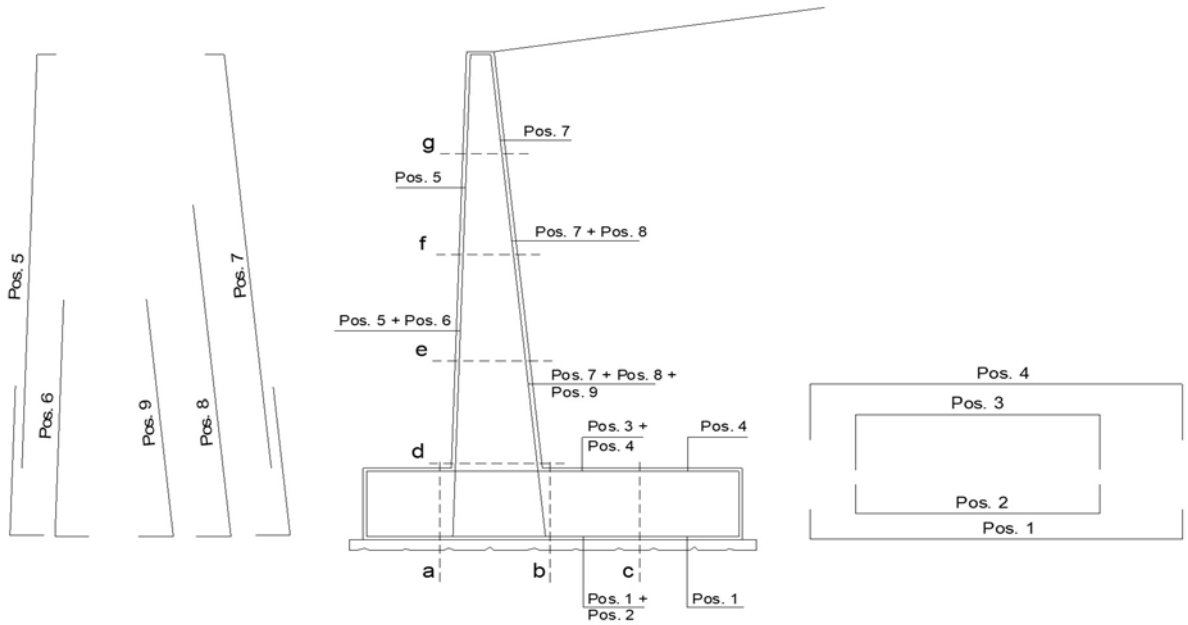
condizione Quasi Permanente

Sez.	M	N	h	Af	A'f	σc	σf	wk	w_{amm}
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm^2)	(cm^2)	(N/mm^2)	(N/mm^2)	(mm)	(mm)
a - a	4.86	0.00	0.30	5.65	5.65	0.69	36.64	0.045	0.300
b - b	-1.67	0.00	0.30	5.65	5.65	0.24	12.55	0.015	0.300
c - c	-0.73	0.00	0.30	5.65	5.65	0.10	5.51	0.007	0.300
d - d	5.55	11.25	0.30	5.65	5.65	0.82	31.59	0.037	0.300
e -e	2.63	8.44	0.30	5.65	5.65	0.38	12.37	0.014	0.300
f - f	0.95	5.63	0.30	5.65	5.65	0.12	2.54	0.003	0.300
g - g	0.18	2.81	0.30	5.65	5.65	0.02	-0.01	0.000	0.300

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

Verifica tensione nei materiali

SCHEMA DELLE ARMATURE

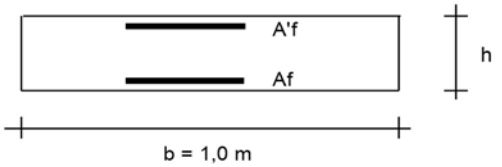


ARMATURE

pos	n°/ml	ϕ	II strato	pos	n°/ml	ϕ	II strato
1	5.0	12		5	5.0	12	
2			☐	6	5.0	12	☐
3			☐	7	5.0	12	
4	5.0	12		8			☐
				9	5.0	12	☐

Calcola

VERIFICHE



a-a	pos 1-2-3-4
b-b	pos 1-2-3-4
c-c	pos 1-4
d-d	pos 5-6-7-8-9
e-e	pos 5-6-7-8-9
f-f	pos 5-7-8
g-g	pos 5-7

Condizione Statica

Sez.	M	N	h	Af	A'f	σc	σf
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm^2)	(cm^2)	(N/mm^2)	(N/mm^2)
a - a	6.97	0.00	0.30	5.65	5.65	0.99	52.53
b - b	-2.11	0.00	0.30	5.65	5.65	0.30	15.89
c - c	-0.90	0.00	0.30	5.65	5.65	0.13	6.77
d - d	6.94	11.25	0.30	5.65	5.65	1.02	41.94
e -e	3.42	8.44	0.30	5.65	5.65	0.50	18.13
f - f	1.30	5.63	0.30	5.65	5.65	0.17	4.97
g - g	0.27	2.81	0.30	5.65	5.65	0.03	0.17

Condizione Sismica

Sez.	M	N	h	Af	A'f	σc	σf
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm^2)	(cm^2)	(N/mm^2)	(N/mm^2)
a - a	8.47	0.00	0.30	5.65	5.65	1.21	63.83
b - b	-1.96	0.00	0.30	5.65	5.65	0.28	14.75
c - c	-0.84	0.00	0.30	5.65	5.65	0.12	6.34
d - d	7.37	10.34	0.30	5.65	5.65	1.09	46.00
e -e	3.30	7.75	0.30	5.65	5.65	0.48	17.89
f - f	1.09	5.17	0.30	5.65	5.65	0.15	3.83
g - g	0.18	2.58	0.30	5.65	5.65	0.02	0.01

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

11 PIANO DI GESTIONE DELLE TERRE E ROCCE DA SCAVO

In fase di progetto definitivo, in accordo a quanto previsto dall'art. 9 del D.P.R. 120/2017, è stato redatto il Piano di Utilizzo Terreni di Scavo, il quale, in conformità all'allegato 5 del predetto decreto, descrive la gestione delle terre e rocce da scavo che proverranno dalla realizzazione delle opere in oggetto e che verranno, in parte riutilizzate all'interno del medesimo sito di produzione (art. 185 D.Lgs. 152/2006) e in parte veicolate entro siti di destinazione preposti (art.184-bis D.Lgs. 152/2006). Le terre e rocce da scavo provenienti dal sito di produzione verranno, pertanto, utilizzate, sia nel medesimo sito di produzione che all'esterno in corrispondenza dei siti di utilizzo delineati nel presente progetto esecutivo nel rispetto dei limiti di legge.

Nel presente progetto esecutivo sono stati riquantificati e aggiornati i volumi di scavo e di rilevato sulla base di modellazioni di dettaglio 3D. Complessivamente i volumi di scavo e riporto dei rilevati strutturali riscontrati in sede di progettazione definitiva risultano corretti mentre è stata rilevata una difformità in particolare in merito al volume di materiale per la formazione dei rilevati arginali ambientali che risulta ampiamente sottostimata e conseguentemente il volume di trasporto del materiale veicolato entro siti di destinazione preposti.

Nello specifico la realizzazione dell'opera prevede l'impiego e la gestione dei seguenti volumi di materiale:

- scavo per lo scotico superficiale per l'invaso e rilevato arginale: 16.100 m^3;
- scavo di sbancamento per l'invaso: 62.150 m^3;
- scavo di fondazione rilevato arginale: 6.000 m^3;
- materiale proveniente dagli scavi riutilizzato per la realizzazione dei rilevati arginali: 75.950 m^3;
- materiale di nuovo apporto proveniente da cava per la formazione dei rilevati arginali: 8.155 m^3;
- materiale di risulta oggetto di trasporto e conferimento in siti preposti: 8.300 m^3;
- materiale per inghiaiamento coronamento argine in progetto: circa 1.000 m^3.

Ne deriva, pertanto, che il totale del materiale di scavo, sarà così, suddiviso:

- 16.100 m^3 di scavo per scotico;
- 62.150 m^3 di scavo in banco;

- 6.000 m^3 di scavo fondazione argine;
- Totale volume di scavo: 81.150 m^3.

Del suddetto volume 75.950 m^3 saranno riutilizzati in sito per lo sviluppo dei sistemi arginali escludendo la classificazione a rifiuto in base alle indagini ambientali eseguite in sito e 8.300 m^3 verranno trattati come terre e rocce da scavo assimilabili a sottoprodotti, come confermato dalle indagini ambientali eseguite in fase di progettazione definitiva, i cui esiti risultano conformi ai parametri e ai valori limite previsti dalla tabella 1, colonna "A" (riutilizzo in siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale) e colonna "B" (riutilizzo in siti ad uso commerciale e industriale) dell'Allegato 5 del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i..

I volumi di materiale oggetto di movimentazione per la realizzazione dell'invaso in progetto, aggiornati a seguito della progettazione esecutiva, possono essere, quindi, riepilogati nella seguente tabella:

INVASO MOLINAZZO			
Voce	**Rif. elenco prezzi**	**U.M.**	**Quantità**
Scavo per lo scotico superficiale per l'invaso e rilevato arginale	D6	mc	16.100,00
Scavo di sbancamento per l'invaso	D6	mc	62.150,00
Scavo di fondazione rilevato arginale	D8	mc	6.000,00
Materiale proveniente da scavi per formazione rilevati	D39-D75	mc	75.950,00
Materiale di nuovo apporto per formazione rilevati - trasporto	D75	mc	8.155,00
Materiale complessivo per formazione rilevati – stesa e compattazione	D39	mc	84.105,00
Trasporto materiale di risulta	D21	mc	8.300,00
Inghiaiamento pista di servizio coronamento rilevato	D22	mc	945,00

Tabella 12 – Riepilogo volumi terre e rocce da scavo in progetto.

Come anzidetto le terre e rocce da scavo provenienti dal sito di produzione verranno utilizzate, sia nel medesimo sito di produzione (per la parte di terre e rocce da sbancamento escludendo la classificazione a rifiuti – art.185 D.Lgs. 152/2006), che all'esterno in corrispondenza dei siti di utilizzo delineati dal progetto (per la parte di scotico superficiale, trattate come sottoprodotti – art.184 bis D.Lgs. 152/2006).

Il progetto esecutivo prevede, in particolare, un reinterro in sito per lo sviluppo dei sistemi arginali rilevati, con materiale proveniente dagli scavi par un quantitativo globale stimato di

75.950,00 m^3. Questo materiale verrà miscelato con materiale proveniente da cava esterna (8.155,00 m^3) al fine di ottenere una classe qualitativa adatta alla realizzazione degli argini di progetto (classe di materiale A6 della norma UNI 11531) . Il materiale in ingresso verrà associato a relativa scheda di certificazione. Il materiale delle terre e rocce da scavo, per un quantitativo pari a circa 8.300,00 m^3 verrà portata nei siti di utilizzo preposti. Dalle analisi ambientali eseguite in sito, emerge che i valori del set di analiti delineano valori che rientrano nei limiti del D.Lgs. 152/2006 del 03 aprile 2006, Allegato 5 Tabella 1 sia per la Colonna A per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale, che per la Colonna B per siti ad uso commerciale ed industriale, senza mai superare i valori delle CSC. Pertanto, le terre e rocce da scavo provenienti dal sito di produzione possono essere assimilate a Sottoprodotti. I risultati delle prove sono riportati di seguito in tabella:

Campione	Profondità	Risultato Conforme Colonna A –Tab.1 All.5 Titolo V parte IV DLgs 152/06	Risultato Conforme Colonna B –Tab.1 All.5 Titolo V parte IV DLgs 152/06
S1	0.00-1.00 mt dal p.c.	SI	SI
S1	1.00-2.00 mt dal p.c.	SI	SI
S1	2.00-3.00 mt dal p.c.	SI	SI
S2	0.00-1.00 mt dal p.c.	SI	SI
S2	1.00-2.00 mt dal p.c.	SI	SI
S2	2.00-3.00 mt dal p.c.	SI	SI
S3	0.00-0.50 mt dal p.c.	SI	SI
S3	0.50-2.00 mt dal p.c.	SI	SI
S3	2.00-3.00 mt dal p.c.	SI	SI
S4	0.00-0.50 mt dal p.c.	SI	SI
S4	0.50-2.00 mt dal p.c.	SI	SI
S4	2.00-3.00 mt dal p.c.	SI	SI

Tabella 13 – Riepilogo campionamento chimico terreno in sito svolto in fase di progettazione definitiva.

Per garantire la sicurezza e stabilità del rilevato è previsto l'utilizzo di una percentuale di materiale portato da cava sita, come descritto al capitolo 13 della presente relazione.

Per quanto riguarda il materiale scavato che verrà riutilizzato nel medesimo sito di produzione il trasporto dei materiali da scavo avverrà prevalentemente su piste di cantiere all'interno dell'areale di progetto.

Per quanto riguarda la parte di materiale che sarà destinato ai siti finali di riutilizzo, in quanto

classificabile come sotto prodotto e non rifiuto (come da indagini preliminari ambientali), la scelta delle strade da utilizzare per la movimentazione dei materiali, dei mezzi e del personale è stata effettuata sulla base dei seguenti criteri:

- presenza di siti idonei al riutilizzo del materiale proveniente dal sito di produzione;
- necessità di ridurre al minimo il numero e la lunghezza dei percorsi in area urbana;
- scelta delle strade a maggiore capacità di traffico;
- limitazione al minimo dei transiti in aree residenziali;
- scelta dei percorsi più rapidi per il collegamento tra i cantieri o le aree di lavoro e la viabilità a lunga percorrenza;
- scelta di percorsi privi di passaggi a livello al fine di ridurre i tempi di percorrenza e di limitare di conseguenza i costi, i consumi di carburante e le emissioni di rumore e gas in atmosfera.

Il tutto come individuato e riportato nel successivo paragrafo 13.2 "Logistica di cantiere".

Il materiale da scavo viaggerà con un Documento di Trasporto come previsto dall'Allegato 7 del D.P.R. 120/2017.

Le analisi chimiche condotte durante la prima fase d'indagine saranno successivamente ulteriormente verificate in fase di realizzazione.

11.1 Pianificazione dei lavori

Preliminarmente all'avvio dei lavori di costruzione dei rilevati l'impresa presenterà alla Direzione Lavori per approvazione, un **Piano di utilizzo del materiale di scavo** dal quale si possano evincere le modalità di utilizzo ottimale e di eventuale miscelazione ed omogenizzazione dei materiali con caratteristiche tecniche migliori e, parallelamente, il trasporto a rifiuto dei quantitativi residui con qualità prestazionali inferiori (assimilabili alla porzione di scotico più superficiale), nel rispetto dei limiti progettualmente previsti.

Il suddetto documento si articolerà e includerà quanto segue:

- rilievo geometrico dell'andamento morfologico del terreno in corrispondenza delle sezioni di progetto e di altre eventuali sezioni intermedie integrative;
- rilievo, attraverso pozzetti stratigrafici, per la stima dello spessore medio di ricoprimento

vegetale (strato destinato a coltivo);

- esecuzione di opportune prove di classificazione (aggiuntive a quelle di progetto), ai sensi delle citate norme tecniche, comprensive di analisi granulometrica, individuazione del contenuto naturale d'acqua e limiti di Atterberg delle varie tipologie di terreno esistente in sito. I risultati di tali prove preliminari saranno, quindi, finalizzati a definire le modalità di utilizzo ottimale del terreno di scavo sia per la realizzazione del rilevato di prova che per la realizzazione del rilevato arginale definitivo, nonché per il trasporto a rifiuto dei quantitativi residui con qualità prestazionali inferiori (assimilabili alla porzione di scotico più superficiale – coltivo), nel rispetto dei limiti progettualmente previsti. Le prove in questione saranno a carico dell'appaltatore e il prelievo dei campioni per il laboratorio sarà effettuato in contraddittorio con la direzione Lavori.

11.2 Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli che ne comprovano l'attendibilità. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali e adottati, anche in fase di una prima stima. Inoltre, sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione degli scavi e dei rilevati. In base a quando detto, si può asserire che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

12 PIANO PARTICELLARE DI ESPROPRIO E OCCUPAZIONE

Nella presente fase di progettazione esecutiva in ambito di appalto integrato, sono state confermate le aree individuate in fase di progetto definitivo e, in base alle richieste e prescrizioni aggiuntive fornite dal Comune di Alseno in fase di Conferenza di servizi, è stata prevista l'integrazione di dettaglio del piano particellare di esproprio e occupazione temporanea ricomprendendo l'estensione della pista ciclabile OVEST prevista a monte della Strada Molinazzo, al fine di raccordare in sicurezza il percorso ciclabile con il nucleo abitato di Lusurasco. Si rimanda,

in tal senso, agli specifici elaborati tecnici e grafici allegati al progetto esecutivo (Piano Particellare di esproprio ed occupazione temporanea – stima, elenco ditte e indennità complessive – Integrazione).

I costi per l'occupazione e l'esproprio integrativi afferenti alle aree interessate dalla suddetta estensione della pista ciclabile sono stati debitamente ricompresi all'interno delle somme a disposizione della Stazione Appaltante, come riscontrabile dal Quadro economico di spesa aggiornato in sede di progetto esecutivo.

13 ACCESSO ALL'AREA, CANTIERISTICA E RISOLUZIONE DELLE INTERFERENZE CON LE INFRASTRUTTURE E I SERVIZI A RETE ESISTENTI

13.1 Interferenze con infrastrutture e sottoservizi esistenti

Dall'analisi del sito interessato dalla realizzazione dell'opera, in fase di progettazione definitiva, sono state riscontrate le seguenti interferenze:

- linea elettrica aerea MT;
- sottopasso a viabilità comunale e locale;
- corsi d'acqua secondari;
- reti fognarie, acquedottistiche, telefoniche, elettriche e metano.

Come prescritto in sede di conferenza dei servizi, in prima fase, si provvederà allo spostamento della linea elettrica aerea interferente con l'area dell'invaso. Sarà predisposto un cavidotto corrugato in PEAD a doppia parete DN 125 mm per una lunghezza di circa 685 m con relativi pozzetti elettrici posizionati ogni 50 m circa, successivamente l'ente gestore provvederà all'infilaggio di idonei cavi elettrici nel predisposto cavidotto. Il compenso per lo spostamento della linea MT da parte dell'ente gestore (ENEL) sarà a acarico dell'amministrazione appaltante.

Per quanto riguarda gli attraversamenti delle strade sono stati indicati negli elaborati grafici allegati al progetto gli attraversamenti delle strade comunali (AS), da eseguirsi mediante tecniche ordinarie di scavo, così come gli attraversamenti delle strade di interesse locale (sempre AS), spesso pavimentata a ghiaia, anch'essi da eseguirsi mediante tecniche ordinarie di scavo.

Gli attraversamenti da parte della condotta di adduzione e di distribuzione dell'invaso dei corsi d'acqua secondari sono stati trattati solo con movimenti di terra e successivi ripristini spondali e del

fondo canale. Nel caso tali tubazioni intercettino canali tubati, anch'essi consortili, verranno realizzati dei sifoni di attraversamento.

Per quanto riguarda l'interferenza con la linea telefonica Telecom Italia, sulla base dei colloqui intercorsi con il tecnico di riferimento dell'area su cui insiste il progetto, il tracciato della tubazione di distribuzione in progetto risulta interferire con un cavo telefonico interrato che corre parallelamente a valle della strada comunale del Molinazzo. Durante le fasi di cantiere si adotteranno tutti gli accorgimenti occorrenti e, se necessario, si provvederà a disattivare la linea nel punto interferente e provvedere al ripristino della stessa ad intervento ultimato. Il cielo della tubazione di distribuzione passerà, in ogni caso, al di sotto del cavo Telecom interrato. In fase di cantiere verranno presi contatti con i tecnici designati da Telecom Italia S.p.A. per provvedere puntualmente alla risoluzione dell'interferenza, favorendo la collaborazione tra gli enti.

13.2 Logistica di cantiere



Figura 45 – Mappa con ubicazione del sito di cantiere (A),della cava di prestito (B) e siti di deposito materiale in esubero (C e D) individuati.

Al fine di ottimizzare la logistica di cantiere sono stati individuati i principali siti, nelle aree limitrofe al sito oggetto di intervento, per l'approvvigionamento del materiale necessario alla realizzazione del bacino e per il conferimento del materiale in esubero non oggetto di riutilizzo nell'ambito del sito di costruzione.

Si riportano, quindi, nel seguito la tabella e la mappa riassuntive con l'indicazione:

- della distanza dal cantiere dei singoli siti di deposito;
- del materiale che possono fornire (materiale per argine e materiale anidro per la realizzazione della pista di servizio sommitale);
- della disponibilità al ritiro del materiale in esubero non oggetto di riutilizzo.

Sito	Nome	Distanza km	Volume materiale di nuovo apporto [m^3]	Volume materiale in esubero da ricevere [m^3]	Volume materiale disponibilità al conferimento [m^3]
A	**UBICAZIONE CANTIERE**				
B	**CAVA NUOVA GPL Srl**	15	Circa 8.155		
C	**"Malpodata – sub ambito B" SITO PRINCIPALE**	15		Circa 8.300	100.000
D	**"San Bernardino" EVENTUALE SITO SECONDARIO**	15		Circa 8.300	80.000

Tabella 4 – Riepilogo gestione materiali di nuovo apporto e in esubero.

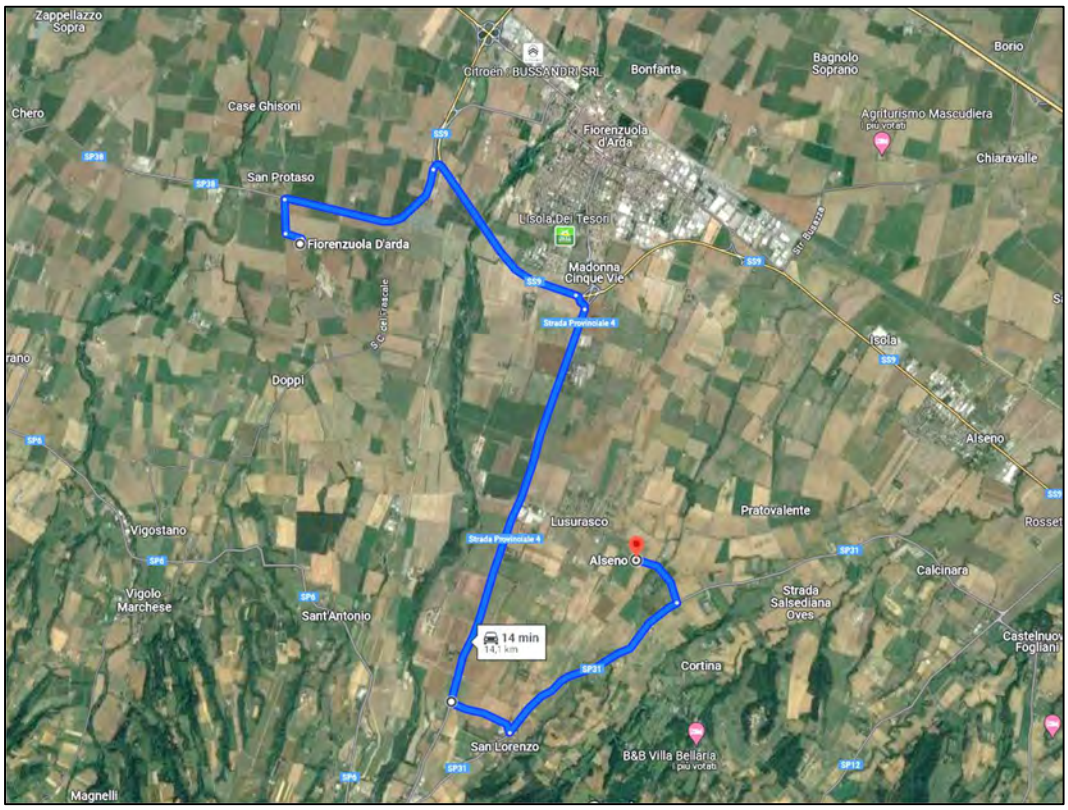


Figura 46 – Ubicazione cave di prestito (B) e di deposito principale (C) individuati in prossimità del sito con relativa percorrenza al sito dei lavori (A)

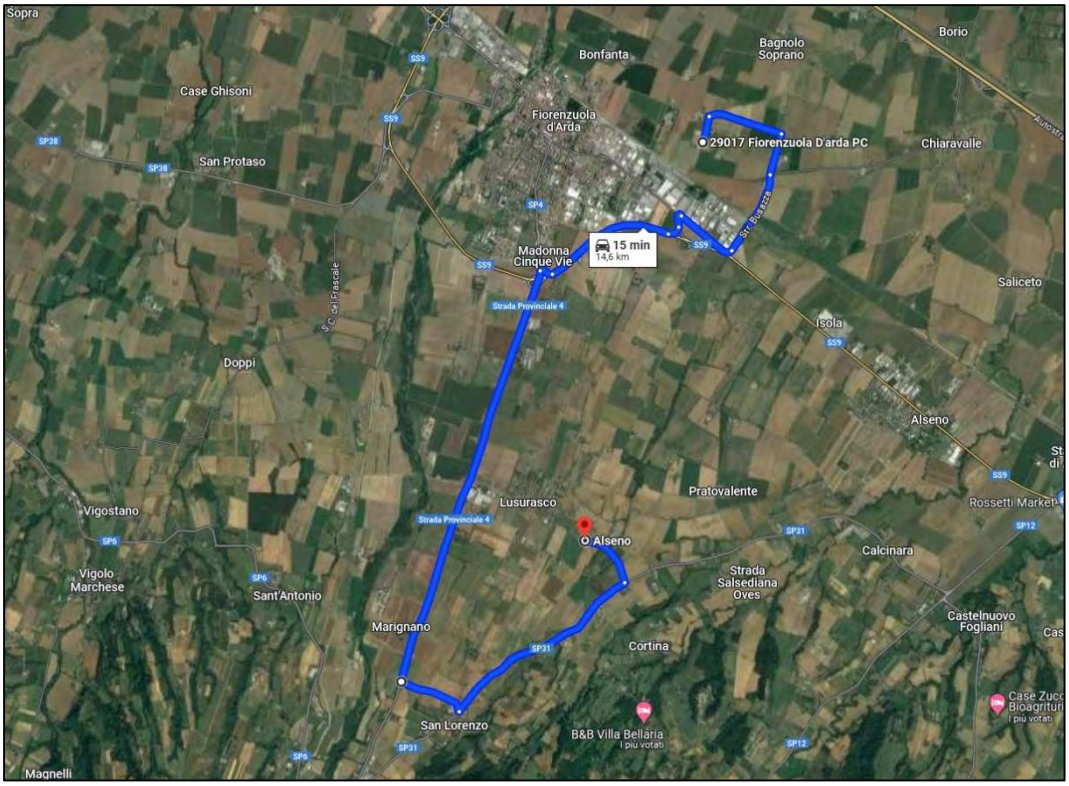


Figura 47 – Ubicazione eventuale deposito secondario (D) individuato in prossimità del sito con relativa percorrenza al sito dei lavori (A).

Considerata l'estrema vicinanza al cantiere (di soli circa 15 km) è stata individuata la Cava Nuova GPL come sito principale per l'approvvigionamento del materiale di nuovo apporto (8.155 mc circa per rilevati), mentre per il conferimento del materiale in esubero (8.300 mc circa), in accordo con la Stazione Appaltante e l'Amministrazione Comunale di Fiorenzuola d'Arda la quale ha riconfermato la disponibilità a fornire il materiale di nuovo apporto e a ricevere il materiale in esubero e non oggetto di riutilizzo.

Si riporta, quindi, nelle pagine seguenti lo studio dell'interferenza con la viabilità esterna effettuato considerando di dover raggiungere tale sito.

13.3 Interferenze con la viabilità esterna

Al fine di ridurre le interferenze con la viabilità limitrofa, per l'approvvigionamento del cantiere e l'allontanamento del materiale in esubero i mezzi percorreranno una viabilità che, come illustrato nell'immagine sopra riportate, non interessa i centri abitati. Questa soluzione consentirà di:

- avere un accesso all'area di cantiere e un'uscita separati;

- avere un'area di manovra che consenta di invertire il senso di marcia agevolmente senza occupare la via; (strada Molinazzo);
- non avere interferenze dei mezzi di cantiere nelle due direzioni lungo la strada di accesso a nord dell'invaso: i mezzi in uscita percorreranno la pista azzurra interna all'area di cantiere;
- evitare il passaggio nei centri abitati limitrofi al cantiere;
- non interferire con i canali irrigui esistenti.

La viabilità esterna individuata sarà garantita nelle varie fasi di cantiere, come illustrato nel paragrafo successivo.

13.4 Fasi operative e layout di cantiere

Preliminarmente all'esecuzione delle opere in progetto è prevista una serie di **opere generali** comprendenti le attività di preparazione propedeutiche allo svolgimento dei lavori come l'allestimento del cantiere, i rilievi e i tracciamenti.

Saranno, quindi, sviluppate le seguenti fasi operative e relativi layout di cantiere:

Fase 1 – allestimento del cantiere e avvio realizzazione rilevato arginale:

Si installerà preliminarmente la recinzione di cantiere lungo tutto il perimetro in modo da interdire il passaggio ai non addetti ai lavori. La recinzione sarà composta da rete metallica e rete arancione e verrà posizionata in modo da non interferire con i canali irrigui presenti lungo il perimetro dell'area di cantiere, i quali rimarranno all'esterno della stessa. Sarà, altresì, installato un cancello di ingresso a nord-ovest e un cancello di uscita a nord-est. L'accesso all'area di cantiere verrà controllato con l'impiego di un sistema di controllo accessi automatico.

In tale fase i mezzi provenienti dalla S.P. 31 percorreranno, quindi, strada Molinazzo per raggiungere l'area di cantiere. Presso il cancello di ingresso, situato a nord-ovest, sarà realizzata un'area di manovra dove i mezzi potranno agevolmente invertire il senso di marcia per entrare all'interno del cantiere senza occupare la via. I mezzi in uscita percorreranno, quindi, la pista azzurra interna all'area di cantiere e raggiungeranno il cancello di uscita posto a nord-est. Tale soluzione limiterà l'interferenza con i mezzi in transito su strada Molinazzo.

Dopo le attività di bonifica bellica e relative autorizzazion del caso si provvedere in prima istanza alla realizzazione del cavidotto per lo spostamento della linea MT esistente, successivamente, dopo lo spostamento della linea elettrica nel nuovo cavidotto da parte dei tecnici ENEL e la successiva dismissione dell'attuale linea aerea, si darà avvio alla realizzazione del rilevato a partire dal lato sud con il senso indicato dalle frecce nella planimetria a lato. In questa condizione si avrà a disposizione un'ampia area per eseguire le operazioni di scavo e per la movimentazione del materiale.

Verrà rispettata la sagoma di progetto senza invadere l'area esterna alla recinzione e, al fine di non interferire con i canali (in questa zona situati in adiacenza al rilevato arginale dell'invaso), i mezzi di cantiere transiteranno preferibilmente al di sopra del rilevato arginale stesso in fase di costruzione.

Si riporta nel seguito il layout di cantiere relativo alla fase operativa n. 1.

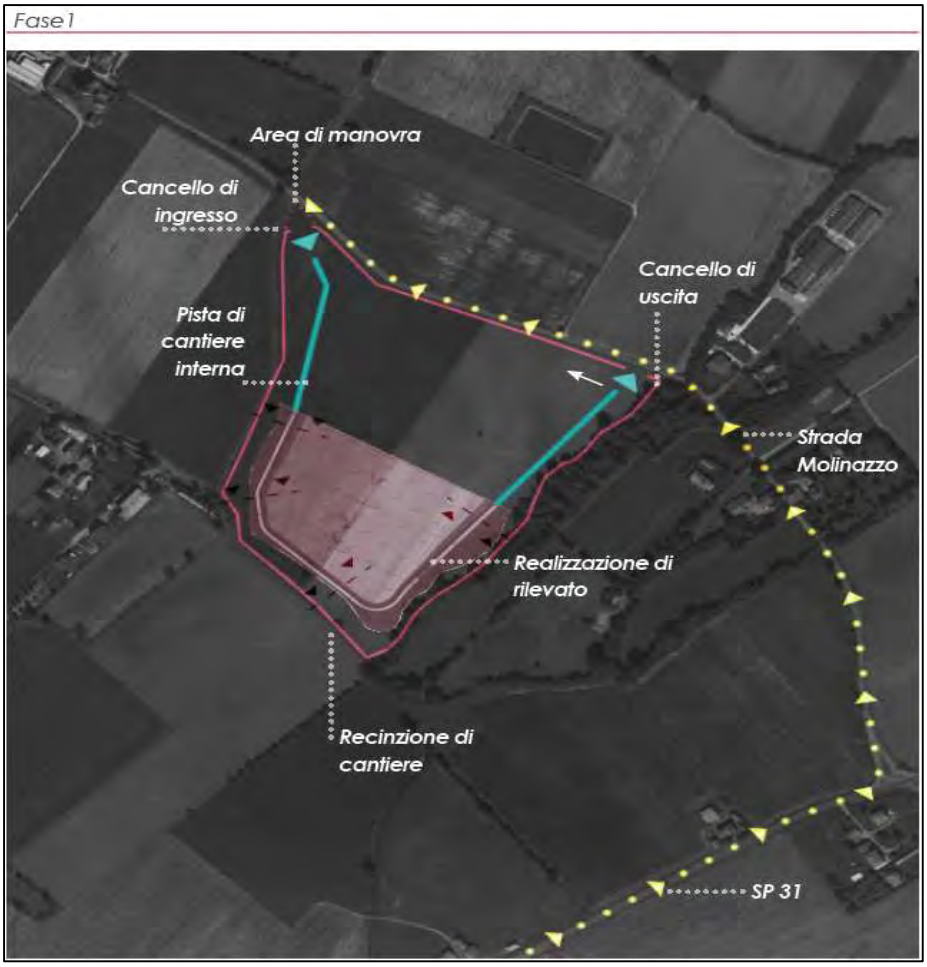


Figura 48 – Planimetria operativa / layout di cantiere – FASE 1.

<u>Fase 2 – realizzazione rilevato arginale e opere in progetto</u>

Nella fase 2 sarà mantenuta la viabilità ad anello descritta precedentemente. Sul lato nord la pista di cantiere potrà passare esternamente alla sagoma da realizzare, rimanendo all'interno della

recinzione di cantiere.

Si proseguirà, quindi, con la realizzazione del rilevato a nord, completando il tratto che richiede una maggiore movimentazione di materiale, avendo sempre a disposizione lo spazio necessario per le manovre ed i movimenti terra, senza interferire con i canali irrigui e con la viabilità. Anche in questo caso i mezzi d'opera transiteremo al di sopra del rilevato arginale in fase di costruzione.

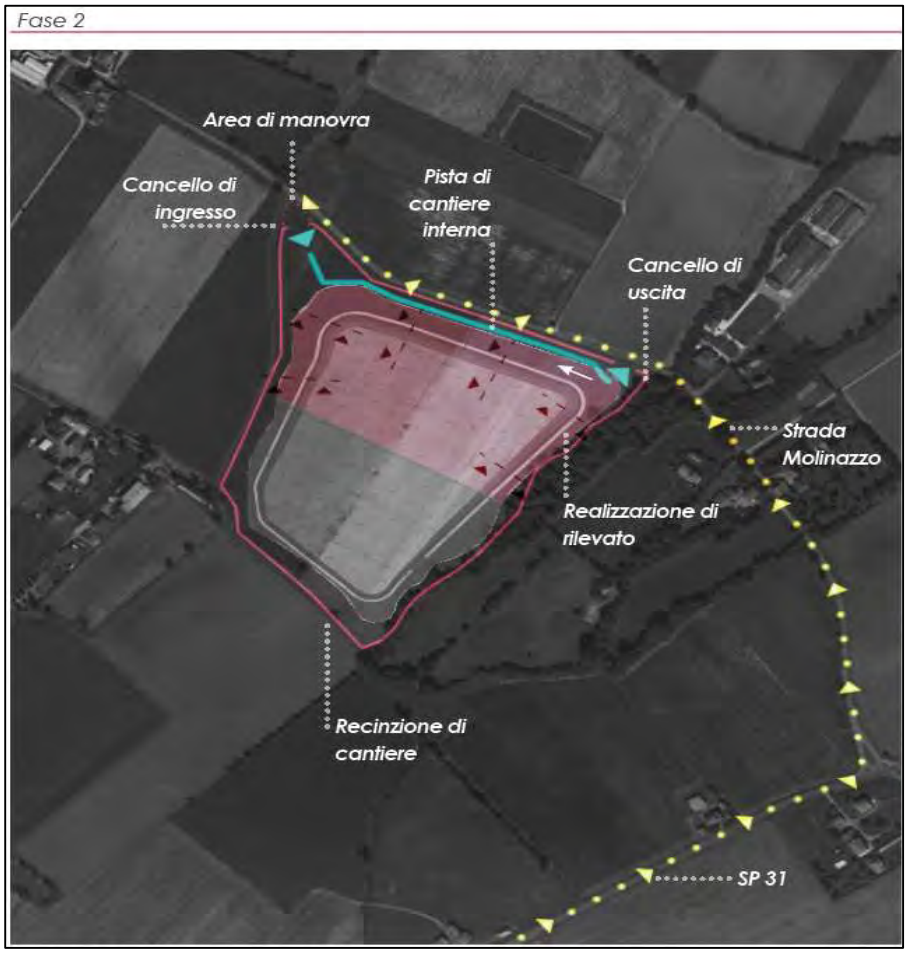


Figura 49 – Planimetria operativa / layout di cantiere – FASE 2.

13.5 Sicurezza

Si illustrano nel seguito i principali accorgimenti tecnici e organizzativi che verranno adottati per assicurare un'ottimale gestione del cantiere garantendo sempre la sicurezza degli operatori e dei fruitori dei luoghi limitrofi al cantiere, rimandando, in ogni caso, ai contenuti del **Piano di Sicurezza e Coordinamento** aggiornato.

Piattaforma di comunicazione condivisa

Al fine di rendere snello ed efficiente lo scambio delle informazioni tra tutte le risorse che

prendono parte all'appalto verrà impiegato un apposito software, utilizzabile su PC, smartphone e su tablet, mediante apposita applicazione. All'interno della struttura creata per la commessa possono essere creati differenti canali tematici, a cui avranno accesso i diversi attori con i relativi livelli di visibilità. L'acquisizione e la trasmissione delle informazioni avvengono in tempo reale, consentendo uno scambio sicuro ed efficace delle comunicazioni ed evitando la confusione che spesso si genera nell'invio di numerose email. Nei canali visibili a tutti i soggetti interessati (RUP, Progettisti, Tecnici impresa) verranno postati i documenti e le comunicazioni di carattere generale. Tutti i documenti e le comunicazioni rimarranno a disposizione all'interno del canale e potranno essere scaricati e salvati sul proprio PC, seguendo ognuno la propria modalità di archiviazione.

Gestione e monitoraggio avanzamento lavori

A garanzia di una gestione ottimale dell'appalto sia in termini di qualità, sicurezza e tempestività nel rispondere alle esigenze della SA e del cantiere stesso, si adotterà una comunicazione snella ed efficace mediante un sistema basato sull'uso dei più moderni sistemi di comunicazione che consentano lo scambio di informazioni, documentazione, dati e fotografie georeferenziate in tempo reale e la consultazione di tutta la documentazione inerente la commessa, utile all'esecuzione dei lavori e allo scambio di informazione con DL, CSE e SA.

Tutte le interazioni interne (tra le figure chiave coinvolte nella gestione della commessa) ed esterne (tra le nostre figure interne e la SA) saranno gestite mediante l'utilizzo di una piattaforma di collaborazione molto semplice, flessibile e facilmente adattabile a scenari in continua evoluzione.

Si tratta di un'applicazione web funzionante su smartphone, tablet e computer, che permette ai diversi attori coinvolti di collaborare agevolmente all'esecuzione dei lavori tramite un'interfaccia conversazionale (chat), che garantisce la tracciabilità attraverso un archivio strutturato e una reportistica automatizzata.

Formazione delle risorse

Sarà adottato un piano di formazione efficace, personalizzato e pertinente, in grado di:

- Infondere la conoscenza necessaria allo svolgimento delle attività.
- Rendere sicure e confidenti le risorse nell'esecuzione delle proprie mansioni.
- Garantire ai Clienti la professionalità necessaria per portare a termine le lavorazioni.

L'organico messo a disposizione della presente commessa è composto da risorse qualificate,

formate e costantemente aggiornate, abituate ad operare con l'obiettivo di portare a termine le attività nei tempi previsti e rispettando gli alti standard di qualità della nostra impresa.

Gestione della sicurezza

Al fine di garantire la migliore gestione della sicurezza in cantiere, si adotterà un apposito software gestionale, il cui scopo è quello di semplificare la gestione della documentazione di cantiere legata alla sicurezza e gestire gli accessi in maniera strutturata, veloce e funzionale. La piattaforma sfrutterà la tecnologia in cloud per archiviare i documenti, accessibili poi, tramite app, da smartphone e tablet, oltre che da pc. La gestione della documentazione risulterà agile, le scadenze preventivamente segnalate da promemoria personalizzati, le non conformità sui documenti segnalate con prontezza. I principali vantaggi che il sistema offre si possono così sintetizzare:

- ottimizzazione delle tempistiche;
- minore impatto ambientale, grazie ad un ridotto utilizzo di carta;
- migliore controllo dei documenti, degli accessi e dei mezzi;
- semplificazione delle comunicazioni;
- maggiore efficienza durante i controlli, grazie alla consultazione di tutta la documentazione necessaria in tempo reale;
- automatizzazione delle procedure;
- accesso da qualunque device, in modalità online e offline.

Si evidenzia, inoltre, che la scelta di tale software consentirà una più facile e sicura gestione degli ingressi anche dei subappaltatori e in generale, della sicurezza in cantiere, che si tradurrà in maggiore quantità di tempo ed efficienza da impiegare nelle lavorazioni.

Sistemi anticollisione

Per garantire la sicurezza dei nostri operatori, utilizzeremmo sistemi anticollisione uomo-macchina tipo *Satefy Moving della Nuzoo Robotics*, composto da un dispositivo installato sul mezzo d'opera e da badge intelligenti consegnati alle maestranze. Tali badge contengono al loro interno un microchip (Tag Attivo), che invia segnali al dispositivo. Il dispositivo, a sua volta, genera una "safety cloud", ovvero una "nuvola di sicurezza" atta ad intercettare i segnali emanati dai tesserini in un determinato raggio d'azione, precedentemente impostato, offrendo una protezione sicura attorno al

veicolo in movimento. In questo modo, tramite segnale visivo o sonoro, l'operatore alla guida del mezzo d'opera viene avvisato della presenza di un uomo vicino al mezzo, il quale, a sua volta, riceve il medesimo segnale tramite il badge (vibrazione o allarme), che lo avvisa della situazione di pericolo scaturita dalla vicinanza del mezzo. Inoltre i mezzi d'opera saranno in genere dotati di telecamere che consentono una visione a 360° dell'area di lavoro garantendo maggiore sicurezza.

Mezzi di nuova generazione

I mezzi a disposizione delle squadre saranno dotati di sistemi satellitari GPS che consentono il controllo automatico 3D degli scavi e della compattazione degli strati di riporto. Questi sistemi consentono, inoltre, di:

- programmare la profondità di scavo per rispettare le prescrizioni di progetto, senza commettere errori;
- visualizzare in tempo reale, direttamente in cabina, i dati del progetto e le indicazioni di sterro/riporto;
- verificare in tempo reale l'accuratezza della lavorazione;
- garantire maggiore sicurezza nello svolgimento delle lavorazioni.

Interferenze con sottoservizi esistenti

Al fine di mappare tutti i sottoservizi presenti sarà effettuata una campagna di rilevazione mediante strumentazione georadar di tipo innovativo ad acquisizione 3D la quale permette di investigare il sottosuolo massimizzando la risoluzione a qualsiasi livello di profondità consentito. Il rilievo sarà eseguito in accoppiata a un GPS RTK per georiferire il segnale acquisito e ottenere precisione sulla reale posizione dei sottoservizi. I risultati ottenuti saranno condivisi con la SA anche nei formati digitali insieme alla restituzione grafica della mappatura in formato autocad. Tale indagine consentirà di eseguire tutte le operazioni di scavo in totale sicurezza.

Bonifica bellica

Le operazioni preliminari di bonifica bellica saranno affidate ad una impresa specializzata, la quale svolgerà le operazioni seguendo tutti i protocolli di sicurezza necessari per ridurre i rischi. L'impresa risulta essere regolarmente iscritta all'albo imprese BCM e gestirà e seguirà tutta la pratica presso il Reparto Infrastrutture - Ufficio B.C.M. competente per territorio, con annessa redazione

dell'elaborato grafico BST e successivo conseguimento del Verbale di validazione Parziale/Totale e quant'altro occorrente, allo scopo di consentire l'inizio e l'avanzamento dei lavori.

Segnaletica e personale addetto

Per garantire sempre la sicurezza lungo la viabilità limitrofa al cantiere verrà installata tutta la segnaletica orizzontale e verticale atta a segnalare la presenza del cantiere e dei mezzi pesanti in movimento.

La velocità del transito degli autoveicoli sarà limitata al fine di garantire: le distanze di visibilità dei segnali (spazio di arresto, di reazione e di frenatura), le manovre in ingresso e in uscita dei mezzi dall'area di cantiere in sicurezza senza provocare brusche frenate.

Al fine di garantire l'immissione dei mezzi di cantiere nella viabilità principale, sarà sempre presente almeno un moviere nelle ore di traffico più intenso, dotati di indumenti ad alta visibilità classe 3 fluorescenti e rifrangenti.

La squadra dedicata alla gestione della segnaletica si occuperà dell'installazione, verifica, pulizia e sostituzione della segnaletica verticale e compilerà le schede.

Ottemperanza alla prescrizioni fornite in fase di Conferenza di servizi

Saranno impiegati cannon fog per l'abbattimento delle polveri nelle operazioni più impattanti (es. scavi e area trattamento terre). I mezzi impiegati per il trasporto del terreno dovranno essere dotati di adeguato telo protettivo per evitare la caduta o perdita di materiale.

Sarà, inoltre, adottato un idoneo sistema di lavaggio ruote posizionato prima dell'immissione sulla viabilità ordinaria; la sede stradale sarà, in tal senso, mantenuta costantemente libera da eventuali depositi di terreno che possano comportare rischi alla sicurezza della circolazione.

Si rimanda, inoltre, a quanto previsto al *Criterio 1.3 dell'offerta tecnica di gara d'appalto.*

13.6 Salvaguardia ambientale del sito

Come illustrato al *capitolo 7* della presente relazione e nel *Criterio 1.3 dell'offerta tecnica di gara d'appalto* integrato durante l'esecuzione dei lavori verranno messi in campo una serie di accorgimenti tecnici e organizzativi atti a mitigare l'impatto del cantiere sull'ambiente.

Quale miglioria quantitativa e misura di compensazione ambientale la fornitura e messa a dimora di n. 43 aceri campestri come descritto nel *Criterio 1.3 dell'offerta tecnica di gara*.

Si riportano di seguito i due schemi riassuntivi delle soluzioni proposte e già descritte al *capitolo 7* della presente relazione.

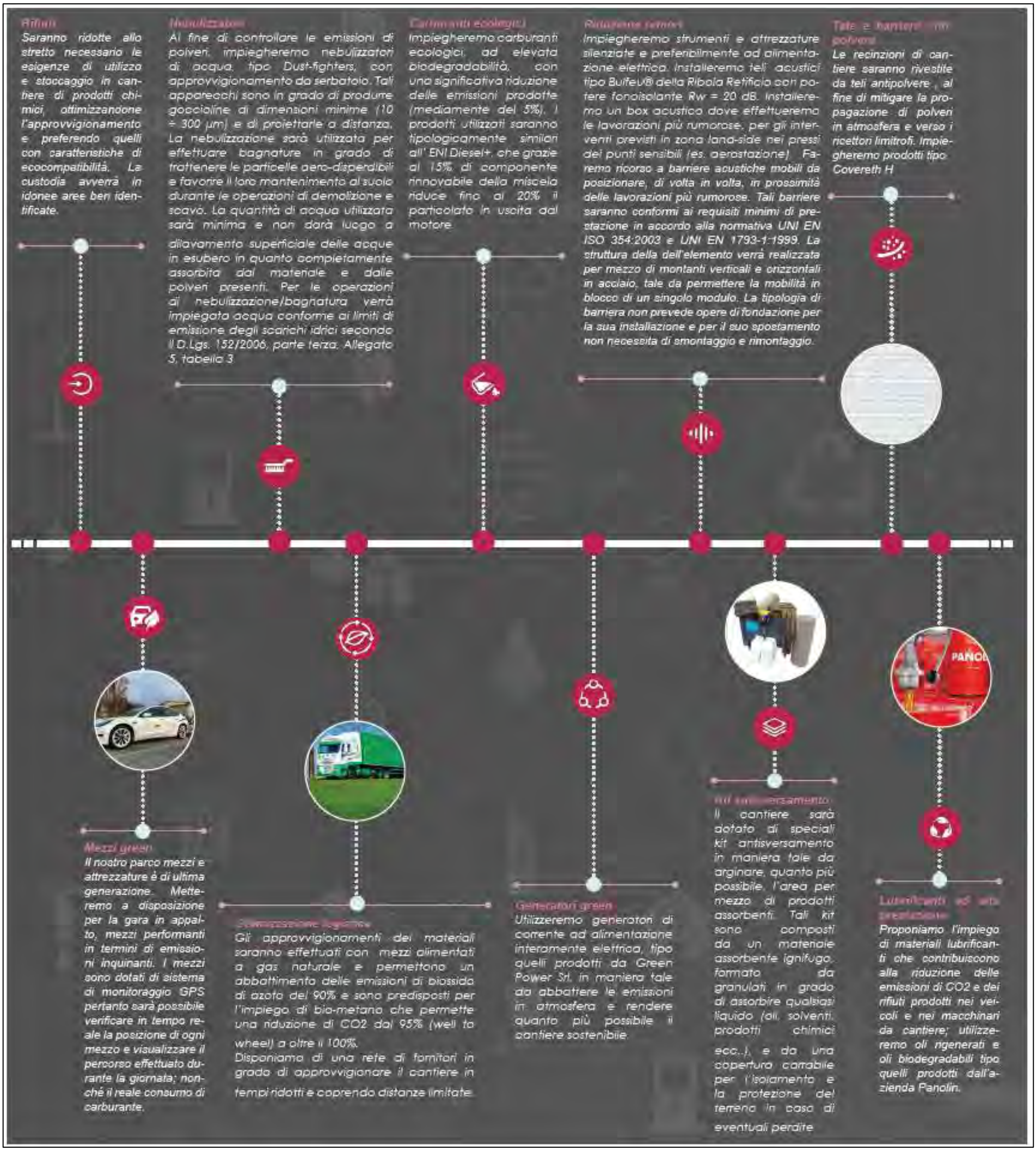


Figura 50 – Quadro sinottico proposte migliorative in materia di tutela ambientale del sito oggetto dei lavori.

MITIGAZIONE DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI

Art. 10

Fornitura di elettricità prodotta da rinnovabili
L'approvvigionamento elettrico del cantiere verrà effettuato mediante forniture elettriche interamente prodotte da fonti rinnovabili. Tale energia "verde" sarà dotata di certificazioni di Origine

Parco mezzi green
Impiego di mezzi d'opera performanti omologati superiori o uguali all'Euro 6 e per i mezzi non stradali (NRMM) Tier 5.
I mezzi saranno dotati di sistema di monitoraggio GPS per il controllo in tempo reale della geolocalizzazione ed ottimizzare i tempi dei trasporti e delle attività

Autovetture elettriche/ibride
Doteremo i capicantiere e il direttore di cantiere di vetture green (ibride ed elettriche)

Approvvigionamenti smart
I fornitori saranno selezionati ed approvvigioneranno con mezzi ad alimentazione a gas naturale, con l'abbattimento del NO_2

Carburanti a basse emissioni
Utilizzeremo carburanti ecologici di derivazione 100% origine vegetale di elevata qualità con tenore di biodegradabilità

ADATTAMENTO AI CAMBIAMENTI CLIMATICI

Art. 11

Report di analisi di adattabilità
Verrà eseguita un'analisi per la valutazione del rischio climatico e della vulnerabilità fisica. I report per l'analisi della resilienza climatica saranno svolti (in ottemperanza agli "Orientamenti tecnici per infrastrutture a prova climatica nel periodo 2021-2027").

identificazione dei rischi climatici e fisici - a) ondata di calore; b) ondata di freddo; c) siccità; d) forti precipitazioni; e) inondazione fluviale - e analisi della loro influenza

valutazione della rilevanza del rischio climatico e della vulnerabilità fisica

indicazione delle soluzioni di adattamento finalizzate a ridurre i rischi fisico

Monitoraggio resilienza climatica
Eventuale controllo delle misure di mitigazione

USO SOSTENIBILE E PROTEZIONE ACQUE E RISORSE MARINE

Art. 12

Misure di gestione delle acque
La nostra proposta prevede misure di gestione del cantiere volte a tutelare la risorsa idrica

Impianti di depurazione delle acque di prima pioggia dalle superfici scolanti impermeabili soggette ad inquinamento, come ad esempio le aree dove vengono effettuate le operazioni di scavo, carico/scarico e taglio di materiali

Interventi atti a garantire un corretto deflusso delle acque superficiali dalle superfici impermeabilizzate anche in caso di eventi meteorologici eccezionali e, nel caso in cui le acque dilavate siano potenzialmente inquinate, saranno adottati sistemi di depurazione. La progettazione sarà effettuata sulla base della normativa di settore UNI/TS 11445.

Cisterna di ritenzione e vasche
Installazione di una cisterna tipo Graf mod. Carat S per il rempiego delle acque meteoriche (servizi delle baracche, pulizia dei mezzi, bagnature dei cumuli e opere di umidificazione, sistema di accumulo antincendio di emergenza, lavaggio con spazzatrice stradale)

TRANSIZIONE VERSO ECONOMIA CIRCOLARE

Art. 13

Gestione delle terre e rocce
La gestione delle terre e rocce da scavo sarà effettuata in due modalità differenti, a seconda degli esiti della caratterizzazione analitica a cui saranno sottoposte:

Impiego come sottoprodotto: riutilizzo in situ del terreno, ai sensi dell'art. 24 del DPR 120/2017, mediante l'installazione di frantoio e vaglio mobile.

Gestione come rifiuto: verranno eseguite delle analisi per classificare il rifiuto e determinarne la sua gestione (analisi caratterizzazione rifiuti, test di cessione per lo smaltimento e test di cessione per il recupero.

Materiali sostenibili
Rete di fornitori di fiducia che rispettino metodologie LCA dei propri prodotti.

Reduce-recycle-reuse
Prevediamo il reimpiego totale (100%) del fresato, presso idonei centri. Recupereremo/riutilizzeremo/riciclereremo il 70% dei rifiuti non pericolosi, derivanti dalle lavorazioni di cantiere - materiali metallici 100% - materiali plastici 40% - legni 100%

PREVENZIONE E RIDUZIONE DELL'INQUINAMENTO

Art. 14

Mitigazione delle polveri
Nebulizzatori
Biosoyl
Spazzatrici
Lavaggio mezzi
Velocità ridotta
Teli antipolvere
Mezzi telonati
Sistema VCS
Fornitori Smart

Mitigazione dei rumori
Barriere acustiche mobili
Box acustici
Teli acustici
Mezzi e attrezzature silenziate
Orari comfortevoli

Monitoraggio ambientale
Metereologico
Acustico
Polveri

Tutela del suolo e sottosuolo

Installazione di telo di HDPE nell'area di cantiere

Gestione degli stoccaggi con suddivisione in baie per CER

Salvaguardia del suolo:
Kit ambientali
Vasche stagne
Oli biodegradabili
Metodologie operative idonee alla gestione degli sversamenti accidentali

PROTEZIONE E RIPRISTINO DELLA BIODIVERSITA'

Art. 15

Interazione con i caratteri paesaggistici
La nostra proposta di tutela della biodiversità, prevede una idonea informazione delle maestranze sui caratteri floro-faunistici dell'ambito di intervento, tali da garantire delle modalità di gestione del cantiere sostenibili con il contesto. Inoltre, le misure di mitigazione descritte nei capitoli precedenti, contribuiscono alla salvaguardia della biodiversità e degli Ecosistemi.

Figura 51 – Quadro sinottico proposte migliorative ai fini della Riduzione dell'impatto ambientale in conformità ai principi cardine del DNSH.

14 CRITERI AMBIENTALI MINIMI

Il Progetto esecutivo è stato implementato al fine di soddisfare ed essere compatibile ai requisiti tecnici previsti in materia di Criteri Ambientali Minimi di cui al D.M. 23.06.2022 – *Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione di interventi edilizi, per l'affidamento dei lavori per interventi edilizi e per l'affidamento congiunto di progettazione e lavori per interventi edilizi.*

Con riferimento, in particolare, alle lavorazioni progettualmente previste, non riguardanti interi edifici, i CAM si sono stati presi in considerazione e applicati in relazione ai capitoli "*2.5 – Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione*" e "*2.6 – Specifiche tecniche progettuali relative al cantiere*" del suddetto Decreto ministeriale.

14.1 Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione

Allo scopo di ridurre l'impatto ambientale sulle risorse naturali, di aumentare l'uso di materiali riciclati aumentando così il recupero dei rifiuti, con particolare riguardo ai rifiuti da demolizione e costruzione, coerentemente con gli obiettivi previsti dal D.M. 23.06.2022, fermo restando il rispetto di tutte le norme vigenti e di quanto previsto dalle specifiche norme tecniche di prodotto, le demolizioni e le rimozioni dei materiali devono essere eseguite in modo da favorire, ove esecutivamente fattibile in funzione delle lavorazioni previste, il trattamento e recupero delle varie frazioni di materiali. In particolare il corpo del rilevato arginale del bacino idrico sarà realizzato mediante il riutilizzo della maggior parte del materiale di scavo, con una percentuale di recupero di circa il 90%.

Per quanto concerne, invece, i principali materiali da costruzione, il progetto prevede, ove applicabile, l'utilizzo di prodotti da costruzione dotati di norma armonizzata, con dichiarazioni di prestazione (DoP) in accordo con il Regolamento prodotti da costruzione 9 marzo 2011, n. 305 ed il D.lgs. 16 giugno 2017 n. 106. L'utilizzo di materiali provenienti da processi di recupero, riciclo, o costituiti da sottoprodotti, dovrà fare riferimento alle definizioni previste dal D.lgs. 3 aprile 2006 n. 152 «Norme in materia ambientale», così come integrato dal D.lgs. 3 dicembre 2010 n. 205 ed alle specifiche procedure di cui al D.P.R.13 giugno 2017 n. 120.

Il valore percentuale del contenuto di materia riciclata ovvero recuperata ovvero di

sottoprodotti, sarà dimostrato dall'esecutor tramite una delle seguenti opzioni, producendo il relativo certificato nel quale sia chiaramente riportato il numero dello stesso, il valore percentuale richiesto, il nome del prodotto certificato, le date di rilascio e di scadenza:

- una dichiarazione ambientale di Prodotto di Tipo III (EPD), conforme alla norma UNI EN 15804 e alla norma UNI EN ISO 14025, quali ad esempio lo schema internazionale EPD© o EPDItaly©, con indicazione della percentuale di materiale riciclato ovvero recuperato ovvero di sottoprodotti, specificandone la metodologia di calcolo;
- certificazione "ReMade in Italy®" con indicazione in etichetta della percentuale di materiale riciclato ovvero di sottoprodotto;
- marchio "Plastica seconda vita" con indicazione della percentuale di materiale riciclato sul certificato.
- per i prodotti in PVC, una certificazione di prodotto basata sui criteri 4.1 "Use of recycled PVC" e 4.2 "Use of PVC by-product", del marchio VinylPlus Product Label, con attestato della specifica fornitura;
- una certificazione di prodotto, basata sulla tracciabilità dei materiali e sul bilancio di massa, rilasciata da un organismo di valutazione della conformità, con l'indicazione della percentuale di materiale riciclato ovvero recuperato ovvero di sottoprodotti.
- una certificazione di prodotto, rilasciata da un Organismo di valutazione della conformità, in conformità alla prassi UNI/PdR 88 "Requisiti di verifica del contenuto di riciclato e/o recuperato e/o sottoprodotto, presente nei prodotti", qualora il materiale rientri nel campo di applicazione di tale prassi.

Per quanto riguarda i materiali plastici, questi possono anche derivare da biomassa, conforme alla norma tecnica UNI-EN 16640. Le plastiche a base biologica consentite sono quelle la cui materia prima sia derivante da una attività di recupero o sia un sottoprodotto generato da altri processi produttivi. Sono fatte salve le asserzioni ambientali auto-dichiarate, conformi alla norma UNI EN ISO 14021, validate da un organismo di valutazione della conformità, in corso di validità alla data di entrata in vigore del presente documento e fino alla scadenza della convalida stessa.

I mezzi di prova della conformità qui indicati saranno presentati dall'appaltatore al direttore dei lavori per le necessarie verifiche prima dell'accettazione dei materiali in cantiere.

Emissioni negli ambienti confinati (inquinamento indoor) – rif. D.M. 23.06. 2022: 2.5.1

Criterio non applicabile al Progetto in questione.

Calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati – rif. D.M. 23.06. 2022: 2.5.2

Requisiti dei materiali e dei prodotti: i calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati dovranno essere conformi ai requisiti tecnici e di produzione previsti dalle N.T.C.2-18, pargrafo 11.2.9.2, tabella 11.2.III e avranno un contenuto di materie riciclate, ovvero recuperate, ovvero di sottoprodotti, di almeno il 5% sul peso del prodotto, inteso come somma delle tre frazioni. Tale percentuale è calcolata come rapporto tra il peso secco delle materie riciclate, recuperate e dei sottoprodotti e il peso del calcestruzzo al netto dell'acqua (acqua efficace e acqua di assorbimento). Al fine del calcolo della massa di materiale riciclato, recuperato o sottoprodotto, va considerata la quantità che rimane effettivamente nel prodotto finale. La percentuale indicata si intende come somma dei contributi dati dalle singole frazioni utilizzate.

Le **verifiche in cantiere** al fine del soddisfacimento del presente requisito saranno attuate mediante il recepimento, da parte della Direzione lavori, dei certificati di origine e produzione di fabbrica del calcestruzzo (FPC), i quali dovranno essere esibiti, per verifica e accettazione, preliminarmente alle forniture in cantiere.

Prodotti prefabbricati in calcestruzzo – rif. D.M. 23.06. 2022: 2.5.3

Requisiti dei materiali e dei prodotti: i prodotti prefabbricati in calcestruzzo dovranno essere conformi ai requisiti tecnici e di produzione previsti dalle N.T.C.2-18, pargrafo 11.2.9.2, tabella 11.2.III e dovranno essere prodotti con un contenuto di materia recuperata, ovvero riciclata, ovvero di sottoprodotti di almeno il 5% sul peso del prodotto, inteso come somma delle tre frazioni. Le percentuali indicate si intendono come somma dei contributi dati dalle singole frazioni utilizzate.

Le **verifiche in cantiere** al fine del soddisfacimento del presente requisito saranno attuate mediante il recepimento, da parte della Direzione lavori, dei certificati di origine e produzione di fabbrica del calcestruzzo (FPC), nonché della marcatura CE e delle Dichiarazioni di Prestazione (DoP) dei manufatti, i quali dovranno essere esibiti, per verifica e accettazione, preliminarmente alle forniture in cantiere.

Acciaio per c.a. e per strutture in carpenteria metallica – rif. D.M. 23.06. 2022: 2.5.4

Requisiti dei materiali e dei prodotti: per gli usi strutturali sarà utilizzato acciaio prodotto con un contenuto minimo di materia recuperata, ovvero riciclata, ovvero di sottoprodotti, inteso come somma delle tre frazioni, come di seguito specificato:

- acciaio da forno elettrico non legato, contenuto minimo pari al 75%.
- acciaio da forno elettrico legato, contenuto minimo pari al 60%;
- acciaio da ciclo integrale, contenuto minimo pari al 12%.

Per gli usi non strutturali è utilizzato acciaio prodotto con un contenuto minimo di materie riciclate ovvero recuperate ovvero di sottoprodotti come di seguito specificato:

- acciaio da forno elettrico non legato, contenuto minimo pari al 65%;
- acciaio da forno elettrico legato, contenuto minimo pari al 60%;
- acciaio da ciclo integrale, contenuto minimo pari al 12%.

Con il termine "acciaio da forno elettrico legato" si intendono gli "acciai inossidabili" e gli "altri acciai legati" ai sensi della norma tecnica UNI EN 10020, e gli "acciai alto legati da EAF" ai sensi del Regolamento delegato (UE) 2019/331 della Commissione. Le percentuali indicate si intendono come somma dei contributi dati dalle singole frazioni utilizzate.

Le **verifiche in cantiere** al fine del soddisfacimento del presente requisito saranno attuate mediante il recepimento, da parte della Direzione lavori, dei certificati di origine e produzione di fabbrica dell'acciaio (attestati di qualificazione, certificati di collaudo e analisi chimica degli acciai) i quali dovranno essere esibiti, per verifica e accettazione, preliminarmente alle forniture in cantiere.

Laterizi – rif. D.M. 23.06. 2022: 2.5.5

Criterio non applicabile al Progetto in questione.

Prodotti legnosi – rif. D.M. 23.06. 2022: 2.5.6

Criterio non applicabile al Progetto in questione.

Isolanti termici e acustici – rif. D.M. 23.06. 2022: 2.5.7

Criterio non applicabile al Progetto in questione.

Tramezzature, contropareti perimetrali e controsoffitti – rif. D.M. 23.06. 2022: 2.5.8

Criterio non applicabile al Progetto in questione.

Murature in pietrame e miste – rif. D.M. 23.06. 2022: 2.5.9

Criterio non applicabile al Progetto in questione.

Sottofondazioni e pavimentazioni stradali – rif. D.M. 23.06. 2022: 2.5.10

Le caratteristiche dei conglomerati bituminosi previsti in progetto sono tali da prevedere l'utilizzo di inerte proveniente da attività di riciclo (rigenerazione) per un massimo del 30%, conforemente a quanto previsto anche sui pertinenti articoli di prezzo desunti dai prezzari regionali di riferimento progettuale.

Requisiti dei materiali e dei prodotti:

- **Materiale utilizzato per il sottofondo delle previste piste ciclabili:** sottofondo per rilevati stradali, ossatura sede stradale e riempimento cassonetti, fornito e eseguito con materiale arido sistemato e pressato a più strati con mezzi meccanici, secondo le sagomature prescritte, misurato in opera, costipato e quant'altro occorra per dare il lavoro finito a regola d'arte: materiale con compenenti riciclate conformemente a quanto previsto dal **prezzario Regione Emilia Romagna codice C01.016.020.c).**
- **Materiale utilizzato per pavimentazione delle previste piste ciclabili:** fornitura e posa in opera di pavimentazione drenante, eco-compatibile e sostenibile per strade carrabili, ciclopedonali, parcheggi e piazzali, posata su strato di fondazione drenante. La pavimentazione avrà….. spessore di cm 5 per ciclopedonali e marciapiedi,…….. Il materiale deve essere certificato su test di cessione e risultare esente da sostanze inquinanti e pericolose nel rispetto di tutti i parametri relativi ai materiali pericolosi previsti nella tabella 1 allegata alle norme europee EN 12457-1, EN 12457-2, EN 12457-3/1, EN 12457-3/2, EN 12457-4. Deve avere una Resistenza a Compressione non inferiore a 18 MPa risultante da certificato di prove di rottura a compressione su provini 15x15x15 rilasciata da Laboratorio Autorizzato dal Ministero dei Lavori Pubblici per Prove su Materiali secondo la norma 1086 e deve contenere massimo 250 kg/ m^3 di cemento 425 risultante da certificato secondo il metodo Florentin rilasciato da Laboratorio Autorizzato dal Ministero dei Lavori Pubblici per Prove su Materiali. La pavimentazione dovrà avere le seguenti caratteristiche: capacità drenante non inferiore a

200 l/m^2 min, non dovrà contenere resine né alcun derivato da idrocarburi, **dovrà risultare riciclabile**, essere resistente all'abrasione, essere ignifugo, fonoassorbente e antisdrucciolo, resistente ai cloruri ed ai sali disgelanti. La posa avviene a freddo, senza rullatura, e non necessita di opere di cordolatura o reti elettrosaldate di base. L'opera deve essere garantita da fenomeni di colonizzazione da parte di erbe invasive: materiale con compenenti riciclate conformemente a quanto previsto dal **prezzario Regione Piemonte codice 18.A90.A11.005).**

- **Materiale utilizzato nelle diverse granulometrie per la protezione delle tubazioni in scavo (sabbia) e per la realizzazione della pista di servizio in sommita' arginale (tipo misto granulare stabilizzato).** Rinterro compreso l'avvicinamento dei materiali, il compattamento a strati dei materiali impiegati fino al raggiungimento delle quote del terreno preesistente ed il costipamento prescritto: con materiale arido tipo A1, A2-4, A2-5, A3 proveniente da cave **o da idoneo impianto di recupero rifiuti-inerti:** materiale con compenenti riciclate conformemente a quanto previsto dal **prezzario Regione Emilia Romagna codice C01.010.010.b).**
- **Materiali bituminosi utilizzati per le pavimentazioni stradali:** strato di base in conglomerato bituminoso costituito da misto granulare prevalentemente di frantumazione, composto da una miscela di aggregato grosso, fine e filler avente Dmax 20 mm, resistenza alla frammentazione Los Angeles (UNI EN 1097-2) LA ≤ 25 (LA25), **compreso fino ad un massimo 30% di conglomerato bituminoso di recupero opportunamente rigenerato con attivanti chimici funzionali (rigeneranti),** dosaggio minimo di bitume totale del 3,8% su miscela, con percentuale dei vuoti fra il 3 ed il 6%, compresa la stesa mediante vibrofinitrice meccanica e la costipazione a mezzo di rulli di idoneo peso in sede stradale: miscela impastata a caldo con bitume tal quale Classe 50/70 o 70/100 con l'aggiunta di attivanti di adesione: materiale con compenenti riciclate conformemente a quanto previsto dal **prezzario Regione Emilia Romagna codice C01.022.010.a).**
- **Strato di binder in conglomerato bituminoso** costituito da misto granulare prevalentemente di frantumazione, composto da una miscela di aggregato grosso, fine e filler avente Dmax 16 mm, resistenza alla frammentazione Los Angeles (UNI EN 1097-2) LA ≤ 25 (LA25), **compreso fino ad un massimo 30% di conglomerato bituminoso di recupero opportunamente rigenerato con attivanti chimici funzionali (rigeneranti)**, dosaggio minimo di bitume totale del 4,2%

su miscela, con percentuale dei vuoti in opera fra il 3 ed il 6%. E' compresa la stesa mediante vibrofinitrice meccanica e la costipazione a mezzo di rulli di idoneo peso miscela impastata a caldo con bitume tal quale Classe 50/70 o 70/100 con l'aggiunta di attivanti di adesione: materiale con compenenti riciclate conformemente a quanto previsto dal **prezzario Regione Emilia Romagna codice C01.022.015.a).**

- **Strato di usura in conglomerato bituminoso** costituito da misto granulare frantumato, composto da una miscela di aggregato grosso, fine e filler avente Dmax 10 mm, resistenza alla frammentazione Los Angeles (UNI EN 1097-2) LA ≤ 20 (LA20), **resistenza alla levigatezza (UNI EN 1097-8) PSV ≥ 44 (PSV44) compreso fino ad un massimo 20% di conglomerato bituminoso di recupero opportunamente rigenerato con Attivanti Chimici Funzionali (rigeneranti)**, con percentuale dei vuoti in opera fra il 3 ed il 6%. E' compresa la stesa mediante vibrofinitrice meccanica e la costipazione a mezzo di rulli di idoneo peso: miscela impastata a caldo con bitume modificato avente penetrazione 45-80 (Classe 4), punto di rammollimento = 70 (Classe 4) e ritorno elastico = 80 (Classe 2) dosaggio minimo di bitume totale del 4,8% su miscela, con l'aggiunta di attivanti di adesione, valore di aderenza superficiale BPN ≥ 62: materiale con compenenti riciclate conformemente a quanto previsto dal **prezzario Regione Emilia Romagna codice C01.022.021.a).**

Le **verifiche in cantiere** al fine del soddisfacimento del presente requisito saranno attuate mediante il recepimento, da parte della Direzione lavori, dei certificati di origine e produzione di fabbrica del conglomerato bituminoso (FPC), nonché della marcatura CE e delle Dichiarazioni di Prestazione (DoP) dei materiali impiegati, i quali dovranno essere esibiti, per verifica e accettazione, preliminarmente alle forniture in cantiere.

Serramenti e oscuranti in PVC – rif. D.M. 23.06. 2022: 2.5.11

Criterio non applicabile al Progetto in questione.

Tubazioni in PCV e in PEAD – rif. D.M. 23.06. 2022: 2.5.12

Le tubazioni in PVC e in PEAD saranno prodotte con un contenuto di materie riciclate, ovvero recuperate, ovvero di sottoprodotti di almeno il 20% sul peso del prodotto, inteso come somma delle tre frazioni. La percentuale indicata si intende come somma dei contributi dati dalle singole frazioni

utilizzate ed è verificata secondo quanto previsto al paragrafo “2.5-Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione-indicazioni alla stazione appaltante”.

Requisiti dei materiali e dei prodotti: certificazione di origine , DoP, schede tecniche produttore.

Verifiche di cantiere e mezzi di prova che l’Esecutore dovrà presentare alla D.L. Certificazione del produttore e DoP.

Pitture e vernici – rif. D.M. 23.06. 2022: 2.5.13

Criterio non applicabile al Progetto in questione.

Impianto di illuminazione pubblica - rif. D.M. 23.06. 2022: 2.3.5.4

I criteri di progettazione degli impianti devono rispondere a quelli contenuti nel documento di CAM “Acquisizione di sorgenti luminose per illuminazione pubblica, l’acquisizione di apparecchi per illuminazione pubblica, …etc”, approvati con decreto ministeriale 27 settembre 2017, e pubblicati sulla gazzetta ufficiale n. 244 del 18 ottobre 2017.

- **rif. D.M. 27.07. 2017:**

4.1.3.6 Efficienza luminosa e indice di posizionamento cromatico dei moduli LED

Efficienza luminosa del modulo LED completo di sistema ottico [lm/W] ≥95. Efficienza luminosa del modulo LED senza sistema ottico [lm/W] ≥110.

4.1.3.7 Fattore di mantenimento del flusso luminoso e Tasso di guasto dei moduli LED

Fattore di mantenimento del flusso luminoso: L80 per 60.000 h di funzionamento. Tasso di guasto (%): B10 per 60.000 h di funzionamento.

4.1.3.11 Informazioni sui moduli LED

Nei casi in cui la fornitura è esclusivamente riferita ai Moduli LED ed è separata da una contestuale fornitura del relativo apparecchio di illuminazione, oltre a quelle già previste dai precedenti criteri, l’offerente deve fornire per i moduli LED le seguenti informazioni:

- **dati tecnici essenziali** (riferimento EN 62031): marca, modello, corrente tipica (o campo di variazione) di alimentazione (I), tensione (o campo di variazione) di alimentazione (V), frequenza, potenza (o campo di variazione) di alimentazione in ingresso, potenza nominale (W), indicazione della posizione e relativa funzione o schema del circuito, valore di tc (massima temperatura ammessa), tensione di lavoro massima, classificazione per rischio

fotobiologico (se diverso da GR0 o GR1) ed eventuale distanza di soglia secondo le specifiche del IEC TR 62778;

- **temperatura del modulo** tp (°C), ovvero temperatura al punto tp cui sono riferite tutte le prestazioni del modulo LED; punto di misurazione ovvero posizione ove misurare la temperatura tp nominale sulla superficie dei moduli LED;
- **flusso luminoso nominale** emesso dal modulo LED (lm) in riferimento alla temperatura del modulo tp (°C) e alla corrente di alimentazione (I) del modulo previste dal progetto;
- **efficienza luminosa** (lm/W) iniziale del modulo LED alla temperatura tp (°C) e alla temperatura tc (°C);
- **campo di variazione della temperatura** ambiente prevista dal progetto (minima e massima);
- **fattore di potenza** per ogni valore di corrente previsto;
- criteri/normativa di riferimento per la determinazione del fattore di mantenimento del flusso a 60.000 h;
- criteri/normativa di riferimento per la determinazione del tasso di guasto a 60.000 h;
- **indice di resa cromatica** (Ra);
- nei casi in cui è fornito insieme al modulo, i parametri caratteristici dell'alimentatore elettronico (v. criterio 4.1.3.13);
- se i moduli sono dotati di ottica, **rilievi fotometrici**, sotto forma di documento elettronico (file) standard normalizzato (tipo "Eulumdat", IESNA 86, 91, 95 ecc.);
- se i moduli sono dotati di ottica, rapporti fotometrici redatti in conformità alla norma EN 13032 (più le eventuali parti seconde applicabili) emessi da un organismo di valutazione della conformità (laboratori) accreditato o che opera sotto regime di sorveglianza da parte di un ente terzo indipendente;
- dichiarazione del legale rappresentante o persona delegata per tale responsabilità dell'offerente che il rapporto di prova si riferisce a un campione tipico della fornitura e/o che indica le tolleranze di costruzione o di fornitura (da non confondere con l'incertezza di misura) per tutti i parametri considerati.

4.1.3.13 Informazioni relative a installazione, manutenzione e rimozione delle lampade a scarica ad alta intensità, dei moduli LED e degli alimentatori.

L’offerente deve fornire, per ogni tipo di lampada a scarica ad alta intensità/modulo LED, oltre a quanto richiesto da:

- Regolamento 245/2009 CE, allegato III punto 1.3 come modificato dal Regolamento (CE) N. 347/2012 (unicamente per lampade a scarica),
- Regolamento UE 1428/2015 del 25 agosto 2015 che modifica il regolamento (CE) n. 244/2009 della Commissione e il regolamento (CE) n. 245/2009 della Commissione che abroga la direttiva 2000/55/CE del Parlamento europeo e del Consiglio e il regolamento (UE) n. 1194/2012 della Commissione
- Regolamento 1194/2012 UE, tabella 5 più Tabelle 1 e 2 e s. m. e i. (per sistemi LED direzionali),
- normativa specifica, quale EN 62717 (unicamente per moduli LED),

almeno le seguenti informazioni:

- **istruzioni per installazione** ed uso corretti,
- **istruzioni di manutenzione** per assicurare che la lampada/il modulo LED conservi, per quanto possibile, le sue caratteristiche iniziali per tutta la durata di vita,
- **istruzioni per la corretta rimozione e smaltimento.**

L’offerente deve fornire, per ogni tipo di alimentatore, anche le seguenti informazioni:

- istruzioni per installazione ed uso corretti,
- istruzioni di manutenzione,
- istruzioni per la corretta rimozione e smaltimento.

4.1.3.14 Garanzia

Nel caso di moduli LED il periodo di garanzia deve essere di **5 anni** a partire dalla data di consegna all’Amministrazione, nelle condizioni di progetto, esclusi atti vandalici, danni accidentali o altre condizioni eventualmente definite nel contratto.

4.1.4.5 Efficienza luminosa e indice di posizionamento cromatico dei moduli LED

Vengono assegnati punti premianti ai moduli LED che, alla potenza nominale di alimentazione (ovvero la potenza assorbita dal solo modulo LED), raggiungono le seguenti prestazioni:

Efficienza luminosa del modulo LED completo di sistema ottico (il sistema ottico è parte integrante del modulo LED) [lm/W] ≥105

Efficienza luminosa del modulo LED senza sistema ottico (il sistema ottico non fa parte del modulo LED) [lm/W] ≥120

- *4.2.3.4 Apparecchi per illuminazione di aree pedonali, percorsi pedonali, percorsi ciclabili, aree ciclo-pedonali*

Per apparecchi per illuminazione di aree pedonali, percorsi pedonali, percorsi ciclabili, aree ciclo-pedonali, si intendono tutti quegli apparecchi destinati ad illuminare aree pedonali o ciclabili.

Tali apparecchi devono avere, oltre alla Dichiarazione di conformità UE, almeno le seguenti caratteristiche:

Tab. n. 3

Proprietà dell'apparecchio di illuminazione	Valori minimi
IP vano ottico	IP55
IP vano cablaggi	IP55
Categoria di intensità luminosa	≥ G*2
Resistenza agli urti (vano ottico)	IK07
Resistenza alle sovratensioni[10]	4kV

***Verifica**: l'offerente deve dimostrare il soddisfacimento del criterio mediante un mezzo di prova appropriato (quale una scheda tecnica dell'apparecchio di illuminazione, altra documentazione tecnica del fabbricante ove non possibile una relazione di prova di un organismo riconosciuto) che deve comprendere rapporti fotometrici redatti in conformità alle norme UNI EN 13032-1 UNI EN 13032-2 e UNI EN 13032-4, per quanto applicabili.*
I rapporti di prova devono essere emessi da organismi di valutazione della conformità (laboratori) accreditati o che operano sotto regime di sorveglianza da parte di un ente terzo indipendente.
L'offerente deve fornire una dichiarazione del proprio legale rappresentante o persona delegata per tale responsabilità attestante che il rapporto di prova si riferisce ad un campione tipico della fornitura e che indica le tolleranze di costruzione o di fornitura per tutti i parametri considerati.
Il mezzo di prova deve consentire di valutare la conformità del materiale elettrico ai requisiti delle direttive europee applicabili ai fini della Dichiarazione di conformità UE e la conformità alle norme CEI EN 60598-1, CEI EN 60598-2-3, EN 61000-3-2, EN 61000-3-3, EN 55015 e EN 61547.
Deve inoltre dimostrare il soddisfacimento delle norme relative all'unità elettronica di alimentazione per moduli LED (EN 61347-1, EN 61347-2-13, EN 62384).

14.2 Specifiche tecniche progettuali relative al cantiere e all'ambiente

L'approccio dei Criteri Ambientali Minimi per il conseguimento degli obiettivi ambientali del progetto relativi alla gestione del cantiere di cui al capitolo 2.6 del D.M. 23.06.2022, si è basato sui principi e i modelli di sviluppo dell'economia circolare, in sintonia con i più recenti atti di indirizzo comunitari, seguendo un approccio di architettura bio-ecosostenibile che si basa sull'integrazione di conoscenze e valori rispettosi del paesaggio, dell'ambiente e della biologia di tutti gli esseri viventi che ne fanno parte e consentono quindi alla Stazione appaltante di ridurre gli impatti ambientali generati dai lavori di realizzazione dell'invaso e dalla gestione del cantiere.

Le attività di preparazione e conduzione del cantiere prevedono, quindi, le seguenti azioni:

a) individuazione delle possibili criticità legate all'impatto nell'area di cantiere e alle emissioni di inquinanti sull'ambiente circostante, e delle misure previste per la loro eliminazione o riduzione.

Le criticità sono legate alle possibilità di emissioni derivanti dalle varie attività cantieristiche provenienti dai mezzi meccanici nonché derivanti dalle lavorazioni.

Le azioni mitigative sono riportate nel precedente capitolo 7, paragrafo 3, punti a) ed e).

b) definizione delle misure da adottare per la protezione delle risorse naturali, paesistiche e storicoculturali presenti nell'area del cantiere quali la recinzione e protezione degli ambiti interessati da fossi e torrenti (fasce ripariali) e da filari o altre formazioni vegetazionali autoctone.

Capitolo non applicabile al caso stante i riscontri d'indagine archeologcia e gli esiti della relazione paesaggistica allegata al progetto.

L'azione di mitagazione verso le risorse ambientali e naturali è assicurata per buona parte dalle attenzioni descritte al precedente capitolo 7, paragrafo 3, punto e) oltre a quanto progettualmente previsto quali opere a verde autoctone di armonizzazione ambientale del bacino tra le quali la realizzazione di un filare arboreo composto da 43 aceri campestri.

c) rimozione delle specie arboree e arbustive alloctone invasive, comprese radici e ceppaie.

Non applicabile trattandosi di area prativa.

Si prevvederà comunque al lavaggio dei mezzi in entrata nell'area di cantiere al fine di ridurre la possibilità di trasferimento e vagalità passiva delle specie arboree ed arbustive alloctone.

d) protezione delle specie arboree e arbustive autoctone.

Non applicabile

e) disposizione dei depositi di materiali di cantiere non in prossimità delle preesistenze arboree e arbustive autoctone.

Non applicabile

f) attuazione delle misure adottate per aumentare l'efficienza nell'uso dell'energia nel cantiere e per minimizzare le emissioni di inquinanti e gas climalteranti, con particolare riferimento all'uso di tecnologie a basso impatto ambientale (lampade a scarica di gas a basso consumo energetico o a led, generatori di corrente eco-diesel con silenziatore,

pannelli solari per l'acqua calda ecc.);

Le misure adottate sono ampiamente descritte nel capitolo 7, paragrafo 3 punti a) ed e);

g) attuazione di misure per l'abbattimento del rumore e delle vibrazioni, dovute alle operazioni di scavo, di carico e scarico dei materiali, di taglio dei materiali, di impasto del cemento e di disarmo ecc, e l'eventuale installazione di schermature/coperture antirumore (fisse o mobili) nelle aree più critiche e nelle aree di lavorazione più rumorose, con particolare riferimento alla disponibilità ad utilizzare gruppi elettrogeni super silenziati e compressori a ridotta emissione acustica;

Le misure adottate sono ampiamente descritte nel capitolo 7, paragrafo 3 punti a) ed e);

h) attuazione delle misure per l'abbattimento delle emissioni gassose inquinanti con riferimento alle attività di lavoro delle macchine operatrici e da cantiere che saranno impiegate, tenendo conto delle "fasi minime impiegabili" dei motori per le macchine mobili non stradali: Fase IV minimo a decorrere dal gennaio 2024, ai sensi del Regolamento UE 1628/2016 modificato dal regolamento UE 2020/1040;

Le misure adottate sono ampiamente descritte nel capitolo 7, paragrafo 3 punti a) ed e);

i) attuazione delle misure atte a garantire il risparmio idrico e la gestione delle acque reflue nel cantiere e l'uso delle acque piovane e quelle di lavorazione degli inerti, prevedendo opportune reti di drenaggio e scarico delle acque;

Le misure adottate sono ampiamente descritte nel capitolo 7, paragrafo 3 punto c);

j) attuazione delle misure per l'abbattimento delle polveri e fumi anche attraverso periodici interventi di irrorazione delle aree di lavorazione con l'acqua o altre tecniche di contenimento del fenomeno del sollevamento della polvere;

Le misure adottate sono ampiamente descritte nel capitolo 7, paragrafo 3 punto e);

k) attuazione delle misure per garantire la protezione del suolo e del sottosuolo, impedendo la diminuzione di materia organica, il calo della biodiversità nei diversi strati, la contaminazione locale o diffusa, la salinizzazione, l'erosione etc., anche attraverso la

verifica continua degli sversamenti accidentali di sostanze e materiali inquinanti e la previsione dei relativi interventi di estrazione e smaltimento del suolo contaminato;

Le misure adottate per la protezione del suolo e sottosuolo e la loro contaminazione sono ampiamente descritte nel capitolo 7, paragrafo 3 punto e);

l) attuazione delle misure a tutela delle acque superficiali e sotterranee, quali l'impermeabilizzazione di eventuali aree di deposito temporaneo di rifiuti non inerti e depurazione delle acque di dilavamento prima di essere convogliate verso i recapiti idrici finali;

Le misure adottate per la protezione del suolo e sottosuolo e la loro contaminazione sono ampiamente descritte nel capitolo 7, paragrafo 3 punto c);

m) attuazione delle misure idonee per ridurre l'impatto visivo del cantiere, anche attraverso schermature e sistemazione a verde, soprattutto in presenza di abitazioni contigue e habitat con presenza di specie particolarmente sensibili alla presenza umana;

Non son presenti abitazioni nelle vicinanze e non sono giustificabili cortine verdi a carattere temporaneo.

A livello definitivo saranno realizzate gli impianti a verde di cui all'elaborato R16 - Relazione verde oltre al filare di 43 aceri offerti quale milgioria ambientale sul prospetto più percepibile.

Le misure adottate in termini cantieristici per l'utilizzo di idonee recinzioni e maschrature sono opportunamente descritte nel capitolo 7, paragrafo 3 punto e) laddove si precisa che verranno installati a ridosso delle recinzioni di cantiere teli antipolvere in maniera da confinare la propagazione di materiale polverulento in atmosfera. Il contenimento sarà garantito dalla filtrazione delle particelle più grossolane e dalla locale riduzione della velocità del vento

n) misure per realizzare la demolizione selettiva individuando gli spazi per la raccolta dei materiali da avviare a preparazione per il riutilizzo, recupero e riciclo;

La gestione del materiale di risulta dagli scavi e delle demolizioni è idoneamente descritta nel capitolo 7, paragrafo 3 punto d);

o) misure per implementare la raccolta differenziata nel cantiere (imballaggi, rifiuti

pericolosi e speciali etc.) individuando le aree da adibire a deposito temporaneo, gli spazi opportunamente attrezzati (con idonei cassonetti/contenitori carrellabili opportunamente etichettati per la raccolta differenziata etc.).

La gestione dei resti e rifiuti della produzione dei lavori è idoneamente descritta nel capitolo 7, paragrafo 3 punto d);

15 QUADRO AUTORIZZATIVO

Il Progetto definitivo ha ottenuto tutte le autorizzazioni, nulla osta e pareri necessari pevisti per legge, nell'ambito della Conferenza di servizi e del Provvedimento Autorizzatorio Unico di VIA, di cui alla Delibera di Giunta Regionale n. 717 del 13.05.2019 e al Verbale del Provvedimento Autorizzatorio unico sottoscritto dalla Conferenza di Servizi nella seduta conclusiva del 21.03.2019 ai quali si rimanda. Ai sensi della L.R. n. 4/2018 l'emanazione del Provvedimento Autorizzatorio Unico Regionale comprende e sostituisce le autorizzazioni, intese, concessioni, licenze, pareri, concerti, nulla osta e assensi comunque denominati, necessari alla realizzazione ed esercizio del progetto e indicati nella seguente tabella:

AUTORIZZAZIONE/PROVVEDIMENTO/PARERE	AUTORITA' COMPETENTE	TIPOLOGIA ATTO (VINCOLANTE/NON VINCOLANTE)
Provvedimento di VIA L.R. 4/2018	Regione Emilia-Romagna	vincolante
Parere sull'impatto ambientale L.R. 4/2018, art. 19, comma 7	Comune di Alseno	non vincolante
Concessione di derivazione acque pubbliche superficiali	Arpae Direzione Tecnica - Unità specialistiche Progetto Demanio Idrico	vincolante
Pareri per la Concessione di Derivazione	• Autorità di Bacino distrettuale del fiume Po • Regione Emilia-Romagna • Provincia Piacenza	AdB vincolante, altre no
Permesso di Costruire LR 15/13 e DPR 380/2001	Comune di Alseno	vincolante
Deposito sismico	Comune di Alseno	vincolante
Autorizzazione alla realizzazione dell'invaso D.C.R. n. 3109/1990	Agenzia Regionale per la Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile - Servizio Area Affluenti Po	vincolante
Piano Preliminare di riutilizzo in sito delle terre e rocce da scavo escluse dalla disciplina dei rifiuti Art. 24 DPR n. 120 del 13/06/2017	Regione Emilia Romagna con parere Arpae	non vincolante
Autorizzazione Paesaggistica D. Lgs. 42/2004	Comune di Alseno	vincolante
Parere per Autorizzazione paesaggistica D.lgs. 42/2004	Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio per le province di Piacenza e Parma	vincolante
Parere archeologico D.lgs. 42/2004 D.lgs. 50/2016	Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio per le province di Piacenza e Parma	non vincolante
Nulla osta rispetto alle interferenze con gli enti gestori.	E-distribuzione Ireti Telecom SpA	non vincolanti

La presente progettazione esecutiva non prevede variazioni degli aspetti progettuali che comportino la necessità di aggiornamenti alle autorizzazioni, pareri e nulla osta in essere. Si intendono, pertanto, recepite e richiamate tal quali le Relazioni tecniche e gli Elaborati progettuali prodotti in fase definitiva e di Conferenza di servizi nell'ambito del Provvedimento Autorizzatorio Unico di VIA e, in particolare, propedeutici all'ottenimento delle varie autorizzazioni di carattere ambientale, paesaggistico, archeologico, interferenze con gli Enti gestori, Concessione di derivazione da acque pubbliche superficiali, Edilizio-urbanistico (Permesso di costruire), Gestione delle terre e rocce da scavo e Autorizzazione alla realizzazione dell'invaso ai sensi della D.C.R. n. 3109/1990 e s.m.i..

Si evidenzia che al fine di ottemperare a quanto prescritto dal Comune di Alseno in sede di Conferenza dei Servizi, in accordo con la Stazione Appaltante, si è provveduto a stimare (83.000€ di soli lavori) l'intervento di protezione del rio Gerola consistente in un innalzamento di circa 1 metro della sponda sinistra del rio con relativa protezione spondale in pietrame sciolto locale per una lunghezza di circa 600 metri così come evidenziato nell'elaborato grafico di progetto TAV. 02, integrando la voce già presente *"b.16 - per opere compensative e protezione Rio Gerola" dai precedenti € 18.000 agli attuali € 101.000,00.*

16 CRONOPROGRAMMA LAVORI

Il progetto prevede che l'opera sia realizzata mediante un contratto d'appalto finalizzato alla costruzione di tutte le lavorazioni previste in progetto.

Il cronoprogramma lavori è stato sviluppato conformemente a quanto previsto dall'art. 40 del D.P.R. 207/2010 e ss.mm.ii., con riferimento ai tempi necessari per l'esecuzione dell'intervento, i quali saranno da intendersi decorrenti dal completamento dell'iter di verifica del progetto esecutivo, al quale farà seguito il verbale di consegna dei lavori.

Il cronoprogramma di progetto redatto in sede di progetto definitivo è stato riconfermato in sede di progetto esecutivo con qualche limitata variazione di lavorazioni e relative tempistiche, secondo l'esperienza dell'Impresa Appaltatrice, sempre nel rispetto dei termini temporali previsti.

Il tempo utile complessivo per l'esecuzione delle opere, decorrente dal verbale di consegna definitiva dei lavori, come risultante dal cronoprogramma allegato al progetto, risulta, in tal senso, pari a **470 giorni** naturali e consecutivi, già comprensivi di una prevedibile incidenza dei giorni di andamento stagionale sfavorevole per avverse condizioni atmosferiche. Rispetto al Progetto esecutivo non sono, in particolare, state apportate modifiche alla durata complessiva dei lavori.

17 QUADRO ECONOMICO DI SPESA

Il costo di costruzione del presente progetto esecutivo ammonta complessivamente ad **€ 3.302.950,11**, così come risulta dall'allegato computo metrico estimativo.

Si evidenzia che nonostante l'esiguo aumento dei costi, rispetto al progetto definitivo**,** le opere contabilizzate nel presente progetto esecutivo saranno realizzate al previsto costo contrattuale, così come di seguito riportato:

Totale lavori a base di gara	**€3,240,765.54**
Totale lavori contrattuale (€ 3.240.765,54 - 4,444% rib. d'asta)	**€3,096,745.92**

I prezzi unitari utilizzati per i materiali, manodopera, i noli e i trasporti fanno principalmente e quasi esclusivamente riferimento all'**ELENCO PREZZI DEL PROGETTO DEFINITIVO**, in alternativa ove non presenti o non adeguate si è provveduto all'utilizzo in prima istanza del Prezziario Regionale Emilia-Romagna edizione di aggiornamento infrannuale 2022, approvato con Deliberazione di Giunta regionale n. 1288 del 27 luglio 2022, laddove le categorie di costo non sono state reperibili dal suddetto prezziario regionale, in riferimento a quanto previsto dal D.P.R. 307/2010 e s.m.i. e dal D.Lgs. n. 50/2016 e s.m.i. si è fatto riferimento ai seguenti documenti:

- Prezziari lavori pubblici delle regioni limitrofe (es. Regione Emila Romagna 2022 e Regione Piemonte aggiornamento infrannuale 2022).
- Analisi di prezzo appositamente redatte sulla base di specifiche offerte di mercato e con riferimento ai prezzi elementari di mano d'opera, materiali, noli e trasporti attualizzati, desumibili dal Prezziario regionale di riferimento.

Il quadro economico di spesa proposto e articolato secondo quanto previsto all'articolo 42 del D.P.R. 207/2010 e s.m.i. elenca, pertanto, l'intero fabbisogno finanziario per l'attuazione della soluzione progettuale prescelta sia relativamente al costo delle opere sia relativamente alle somme a disposizione dell'Amministrazione appaltante comprendendo oltre ai costi di costruzione già asosggettati a ribasso d'asta e determinati analiticamente, gli oneri specificatamente afferenti la sicurezza del cantiere e dei lavori non soggetti a ribasso, determinati in base alla stima di cui all'articolo 39, nell'ambito del Piano di Sicurezza e Coordinamento redatto ai sensi del D.Lgs. 81/2008, nonché le somme a disposizione della Stazione appaltante, determinate attraverso valutazioni effettuate in sede di accertamenti preliminari e riguardanti, in particolare, le seguenti voci

principali di spesa:

- Oneri per lavori in economia.
- Oneri di smaltimento in discarica.
- Spese per stazione di telecontrollo al fine di automatizzare le movimentazioni degli organi di alimentazione, carico e scarico a servizio dell'invaso in progetto.
- Oneri per rilievi, accertamenti e indagini.
- Oneri per allacciamenti ai pubblici servizi.
- Oneri per imprevisti.
- Oneri per acquisizione aree o immobili e pertinenti indennizzi, desumibili dai piani particellari di occupazione temporanea ed esproprio del progetto definitivo integrati, come richiesto dall'amministrazione appaltante, .dagli indennizzi relativi alla pista ciclabile OVEST;
- Spese tecniche relative alla progettazione, alle necessarie attività preliminari, al Coordinamento della sicurezza in fase di progettazione, alle Conferenze di servizi, alla D.L. e al coordinamento della sicurezza in fase di esecuzione, all'assistenza giornaliera e contabilità.
- Spese per attività tecnico amministrative connesse alla progettazione, di supporto al responsabile del procedimento, e di verifica e validazione.
- Spese per eventuali spese per commissioni giudicatrici.
- Spese per accertamenti di laboratorio e verifiche tecniche previste dal capitolato speciale d'appalto, collaudo tecnico amministrativo, collaudo statico ed altri eventuali collaudi specialistici.
- Spese per Collaudi Tecnico-Amministrativo e Statico.
- **Spese per opere compensative e protezione Rio Gerola**, in riferimento agli esiti delle verifiche idrauliche di progetto definitivo, nonché alle prescrizioni del Comune di Alseno e dell'Autorizzazione paesaggistica in fase di Conferenza di servizi. Tali opere sono finalizzate a contenere l'eventuale volume idrico in uscita dall'invaso dovuto a fenomeni di collasso arginale, a protezione dell'abitato di Lusurasco. L'arginello verrà realizzato innalzando la sponda sinistra del Rio Gerola con idone materiale di nuovo apporto e e

successivamente protetto in pietrame con cromie locali, il tutto per una lunghezza pari a circa 600 m e un'altezza di 1 m rispetto all'attuale piano campagna.

- IVA di legge sui lavori, servizi e forniture e spese tecniche.
- Economie d'asta.

Il quadro economico di spesa dei lavori in oggetto, nei modi e nelle forme dell'art. 42 del D.P.R. 207/2010 e s.m.i., è, quindi, riportato alla pagina seguente:

QUADRO ECONOMICO DI SPESA - 2° lotto - Invaso Molinazzo					
	INDICAZIONE DEI LAVORI E DELLE PROVVISTE		IMPORTI PARZIALI		IMPORTI TOTALI
A)	**COSTO DI COSTRUZIONE**				
	Lavori a corpo:				
	Opere generali di allestimento cantiere e tracciamenti			**€**	**259.500,21**
	Bonifiche belliche:				
	Demolizioni, scavi, movimenti di materie	€	242.601,60		
	Allestimento cantiere:				
	Demolizioni, scavi, movimenti di materie	€	944,70		
	Spostamento linea elettrica MT				
	Demolizioni, scavi, movimenti di materie	€	7.023,16		
	Cls semplici, armati, prefabbricati	€	1.704,00		
	Tubazioni	€	7.226,75		
	Rete di adduzione			**€**	**94.153,23**
	Tubazione di adduzione:				
	Demolizioni, scavi, movimenti di materie	€	8.277,22		
	Tubazioni	€	58.089,95		
	Manufatto di alimentazione:				
	Cls semplici, armati, prefabbricati	€	27.786,06		
	Invaso			**€**	**2.273.817,94**
	Sistema antintrusione:				
	Recinzioni	€	140.175,37		
	Segnaletica	€	654,36		
	Videosorveglianza	€	1.520,19		
	Opere strutturali in terra:				
	Demolizioni, scavi, movimenti di materie	€	698.479,22		
	Opere di impermeabilizzazione e protezione:				
	Impermeabilizzazioni	€	1.162.032,17		
	Manufatti idarulici:				
	Demolizioni, scavi, movimenti di materie	€	3.875,61		
	Difese in massi o pietrame	€	40.889,21		
	Cls semplici, armati, prefabbricati	€	42.098,07		
	Acciaio per c.a.	€	4.198,69		
	Casseri	€	13.463,37		
	Tubazioni	€	101.947,23		
	Impermeabilizzazioni	€	5.726,00		
	Opere elettriche:				
	Messa a terra	€	2.060,24		
	Allacci generali	€	44.408,98		
	Rete di distribuzione	€	6.156,35		
	Punti luce	€	6.132,88		
	Rete di distribuzione			**€**	**446.349,85**
	Tubazione di distribuzione-spostamento Terzuola:				
	Demolizioni, scavi, movimenti di materie	€	62.137,87		
	Cls semplici, armati, prefabbricati	€	1.159,26		
	Tubazioni	€	381.903,32		
	Asfalti, conglomerati bituminosi	€	1.149,40		
	Ripristino strada comunale			**€**	**70.223,26**
	Accessibilità e ripristino strada comunale:				
	Asfalti, conglomerati bituminosi	€	70.223,26		

QUADRO ECONOMICO DI SPESA - 2° lotto - Invaso Molinazzo

		INDICAZIONE DEI LAVORI E DELLE PROVVISTE	IMPORTI PARZIALI	IMPORTI TOTALI
		Pista ciclabile		**€ 124.735,74**
		Demolizioni, scavi, movimenti di materie	€ 90.184,29	
		Cls semplici, armati, prefabbricati	€ 13.632,95	
		Tubazioni	€ 20.918,50	
		Sistema verde		**€ 34.603,97**
		Opere a verde:		
		Demolizioni, scavi, movimenti di materie	€ 24.627,17	
		Manutenzione colturale biennale:		
		Demolizioni, scavi, movimenti di materie	€ 9.976,80	
		TOTALE LAVORI DA PROGETTO ESECUTIVO	**€ 3.303.384,20**	
		Totale lavori Progetto Definitivo a base di gara	**€ 3.240.765,54**	
		Totale lavori contrattuale (€ 3.240.765,54-4,444% rib. d'asta)	**€ 3.096.745,92**	
A)		**LAVORI IN APPALTO**		
	a.1	- Totale lavori contrattuale: lavori a misura, a corpo, in economia	**€ 3.096.745,92**	
	a.2.1	- oneri della sicurezza, non soggetti a ribasso d'asta	€ 38.897,20	
	a.2.2	- costi sicurezza prevenzione Covid 19, non soggetti a ribasso d'asta (da corrispondere solo nel caso riproporsi termini di legge)	€ 29.495,18	
		Sommano per sicurezza a.2	€ 68.392,38	
		Totale lavori e sicurezza in appalto a.1+a.2	€ 3.165.138,30	
	a.2.3	- servizi di ingegneria per progettazione esecutiva, non soggetti a ribasso	€ 104.437,66	
		Totale lavori e servizi in appalto A)	**€ 3.269.575,96**	**€ 3.269.575,96**
B)		**SOMME A DISPOSIZIONE DELLA STAZIONE APPALTANTE:**		
*	**b.1**	- per lavori in economia		
	b.1.1	- per oneri di smaltimento a discarica	€ 27.500,00	
	b.1.2	- per telecontrollo	€ 20.700,00	
		Sommano per b.1	**€ 48.200,00**	
	b.2	- per rilievi, accertamenti e indagini	€ 4.800,00	
	b.3	- per allacciamenti ai pubblici servizi	€ 8.470,43	
	b.4	- per imprevisti	€ 99.274,74	
	b.5	- per acquisizione aree o immobili e pertinenti indennizzi	€ 689.025,25	
*	**b.7**	- per spese tecniche relative alla progettazione, alle necessarie attività preliminari, al coordinamento della sicurezza in fase di progettazione, alle conf. Di servizi, alla D.L. e al coordinamento della sicurezza in fase di esecuzione, all'assistenza giornaliera e contabilità		
	b.7.1	- Direttore operativo	€ 23.469,14	
	b.7.2	- Coordinamento sicurezza esecuzione	€ 58.672,84	
		Sommano per b.7	**€ 82.141,98**	
*	**b.8**	- per spese per attività tecnico amministrative connesse alla progettazione, di supporto al responsabile del procedimento, e di verifica e validazione	€ 30.509,88	
*	**b.9**	- per eventuali spese per commissioni giudicatrici	€ 8.000,00	
*	**b.11**	- per spese per accertamenti di laboratorio e verifiche tecniche previste dal capitolato speciale d'appalto, collaudo tecnico amministrativo, collaudo statico ed altri eventuali collaudi specialistici		
	b.11.1	- accertamenti e prove	€ 8.000,00	
	b.11.2a	- collaudo tecnico amministrativo membro1	€ 22.530,37	
	b.11.2b	- collaudo tecnico amministrativo membro 2	€ 22.530,37	
	b.11.2c	- CCT	€ 16.545,79	
	b.11.3	- collaudo statico e strutture	€ 51.632,10	
		Sommano per b.11	**€ 121.238,63**	

QUADRO ECONOMICO DI SPESA - 2° lotto - Invaso Molinazzo					
INDICAZIONE DEI LAVORI E DELLE PROVVISTE			IMPORTI PARZIALI		IMPORTI TOTALI
*	**b.12**	- per I.V.A., eventuali altre imposte e contributi dovuti per legge			
	b.12.1	- per eventuali contributi dovuti per legge (onere Cassa 4% su servizi ingegneria)	€	13.213,13	
	b.12.2	- per I.V.A., eventuali altre imposte e contributi dovuti per legge,su A) + b1+ b2 + b3 + b4+ b7 + b8 + b9 + b11 + b12.1 + b16	€	833.013,44	
*	**b.16**	- per opere compensative e protezione Rio Gerola	€	101.000,00	
*	**b.17**	**- Economie d'asta**	**€**	**58.600,56**	
		Totale somme a disposizione Stazione Appaltante B)	**€**	**2.097.488,04**	**€ 2.097.488,04**
		TOTALE GENERALE A) + B)			**€ 5.367.064,00**