



REGIONE SICILIANA

**ASSESSORATO REGIONALE DELL'ENERGIA
E DEI SERVIZI DI PUBBLICA UTILITÀ**

**DIPARTIMENTO REGIONALE DELL'ACQUA E DEI RIFIUTI
SERVIZIO 4 – GESTIONE INFRASTRUTTURE PER LE ACQUE**

STUDIO DI FATTIBILITA'

DIGA COMUNELLI

**INTERVENTO DI RIEFFICIENTAMENTO DEGLI SCARICHI
PROFONDI E SUPERFICIALI**



MARZO 2017

Ing. Fabio La Puza

Ing. Salvatore Sorbello

Ing. Rosa Valente

Visto:

Il Dirigente del Servizio 4
Ing. Francesco Greco

INDICE

1. QUADRO CONOSCITIVO.....	1
1.1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E DATI DEL SISTEMA IDRICO.....	1
1.2. QUADRO CONOSCITIVO GENERALE E OBIETTIVI DELL'INTERVENTO	5
1.3. ANALISI DELLO STATO DI FATTO.....	7
1.3.1. Le opere di scarico	7
1.3.2. Stato di fatto dello scarico di superficie	10
1.3.3. Stato di fatto dello scarico di fondo e delle opere afferenti	10
1.4. FINALITÀ PROGETTUALI.....	11
1.5. ALTERNATIVE PROGETTUALI	12
1.5.1. Scarico di superficie	12
1.5.2. Scarico di fondo.....	14
1.6. MODALITÀ GESTIONALI	16
2. FATTIBILITÀ TECNICA	16
2.1. INDICAZIONI TECNICHE, TIPOLOGIA E LOCALIZZAZIONE INTERVENTI SULLO SCARICO DI SUPERFICIE.....	16
2.1.1. Intervento di risagomatura.....	17
2.1.2. Intervento di ripristino copriferro e giunti di tenuta	18
2.1.3. Intervento di soprizzo delle pareti laterali del canale fuggatore.....	19
2.2. INDICAZIONI TECNICHE, TIPOLOGIA E LOCALIZZAZIONE INTERVENTI SULLO SCARICO DI FONDO	19
2.2.1. Caratterizzazione dei sedimenti e delle acque presenti nell'invaso.....	21
2.2.2. Rimozione dei sedimenti	22
2.2.3. Deviazione provvisoria.....	24
2.2.4. Organi d'intercettazione e derivazione.....	24
2.2.5. Opere e lavori complementari	25
2.2.5.1. Galleria a monte della camera paratoie	25
2.2.5.2. Pozzo Paratoie	26
2.2.5.3. Condotta irrigua di valle.....	26
2.2.6. Fasi di lavoro	26
2.3. STIMA SOMMARIA DEI COSTI.....	28

ALLEGATO TECNICO:

- STUDIO DELLA CAPACITÀ DI LAMINAZIONE E MODULAZIONE DELL'ONDA DI PIENA MILLENARIA CON UNO SCARICO DI FONDO MODIFICATO E UNO SFIORATORE RIBASSATO E A LARGA SOGLIA

ALLEGATI GRAFICI:

- Tav. 1 - COROGRAFIA
- Tav. 2 - PLANIMETRIA DEL SERBATOIO
- Tav. 3 - PLANIMETRIA AREE DI INTERVENTO
- Tav. 4 - MAPPA DELLE ALTIMETRIE RELATIVE AL RILIEVO BATIMETRICO DEL 2014
- Tav. 5 - PIANTE E SEZIONI SCARICO DI SUPERFICIE RISAGOMATO
- Tav. 6 - SEZIONE DELL'IMBOCCO E PROFILO DELLO SCARICO DI FONDO
- Tav. 7 - PLANIMETRIA DELLE OPERE DI SCARICO CON INDICAZIONE DELL'AREA DI RIMOZIONE DEL SEDIMENTO
- Tav. 8 - SEZIONE DELL'IMBOCCO SCARICO DI FONDO CON INDICAZIONE DELLE PARATIE DI PALI E DEL SEDIMENTO DA RIMUOVERE

RELAZIONE TECNICO-ILLUSTRATIVA

1. QUADRO CONOSCITIVO

1.1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E DATI DEL SISTEMA IDRICO

La Regione Sicilia, tramite il Dipartimento Regionale dell'Acqua e dei Rifiuti, gestisce complessivamente nell'Isola 23 dighe tra le quali la diga Comunelli in territorio del Comune di Butera (CL).

La diga Comunelli, ubicata in Contrada Moddemesi in agro del Comune di Butera (CL), fu realizzata dal Consorzio di Bonifica della piana di Gela negli anni 1961-1968.

La diga ha quota di imposta a circa 64,00 m s.l.m., coronamento a quota 93,00 m s.l.m. (e muro paraonde con testa a quota 94,00 m s.l.m.) e dista circa 8,2 Km dal Mar Mediterraneo; il serbatoio, della capacità utile di 6,0 milioni di metri cubi (7,8 Mmc totale) alla quota di ritenuta normale (89,00 m s.l.m.), provvede alla regolazione pluriennale dei deflussi del bacino imbrifero del torrente Comunelli, esteso circa 82,00 Km², e del bacino imbrifero allacciato del torrente Rizzuto, esteso circa 55,00 Km², le cui acque sono derivate mediante una traversa e condotte al serbatoio attraverso una galleria di valico della lunghezza di circa 3,3 Km e diametro di circa 2,5 m; dal torrente Rizzuto è prevista la derivazione secondo concessione di 0,12 moduli (12 l/s) per il periodo invernale di 9 mesi.

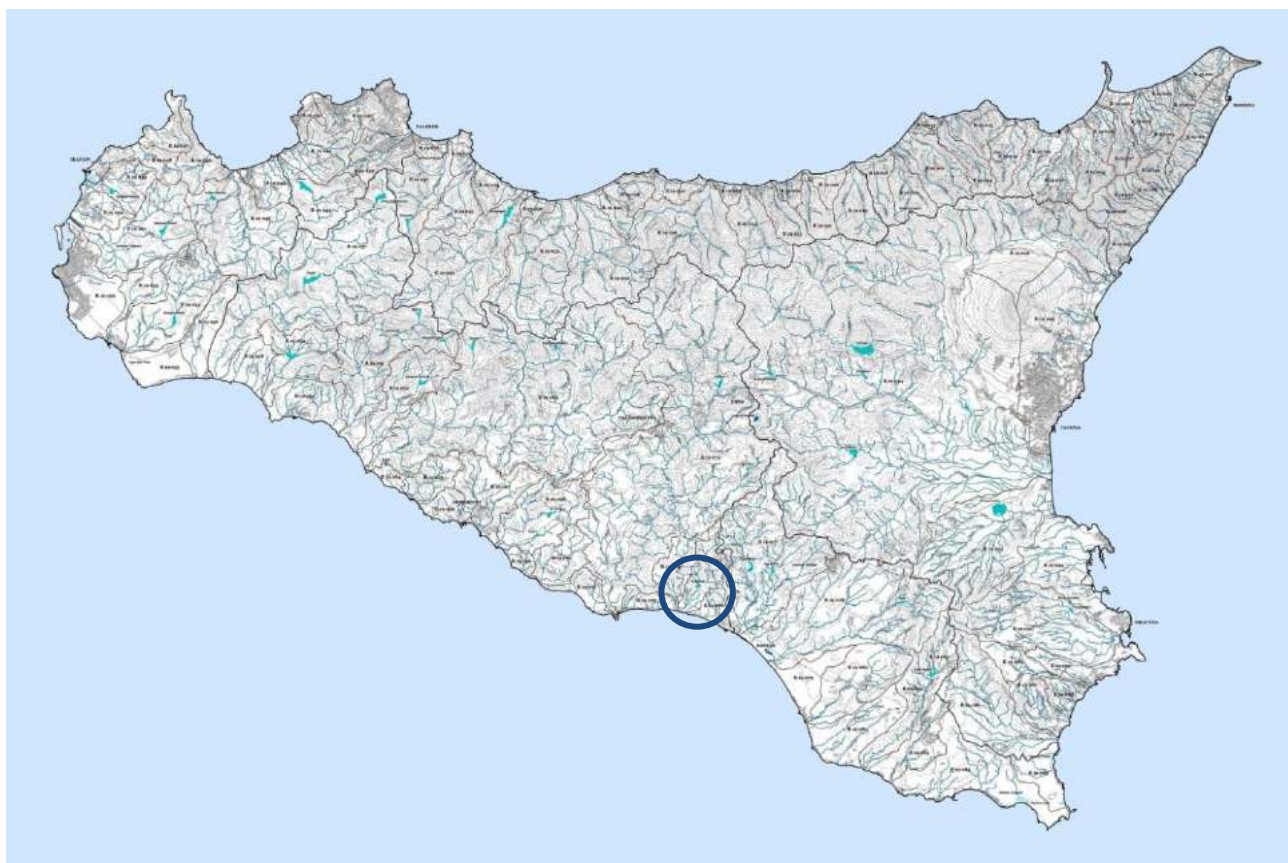


Figura 1.1 - Localizzazione dell'invaso Comunelli sul territorio regionale.

COROGRAFIA GENERALE

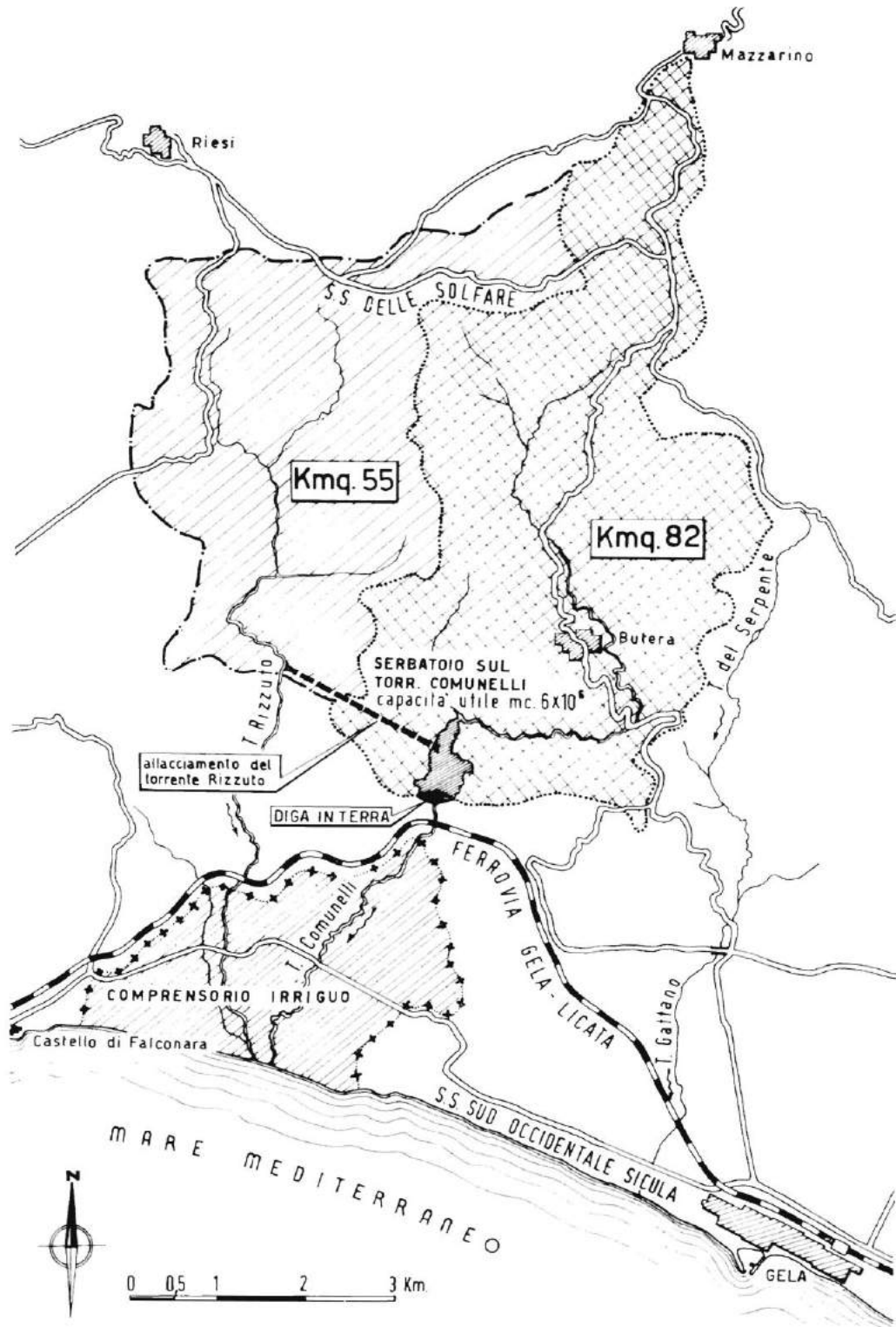


Figura 1.2 - Corografia generale con indicazione dei bacini imbriferi sottesi dalla diga Comunelli.

Le acque accumulate nel serbatoio sono destinate alla irrigazione di un comprensorio per complessivi 1.800 ha ricadente nei territori di Gela e Butera (i volumi utilizzati sono mediamente 1 milione di metri cubi annui).

L'opera di sbarramento è del tipo di terra zonata, con nucleo di tenuta; il rinfiacco di monte è realizzato in materiale permeabile mentre il rinfiacco di valle è in materiale semipermeabile. La diga ha uno sviluppo al coronamento di 680,00 m ed una larghezza in testa di 6,00 m; l'altezza massima è di 29,00 m (ai sensi della Legge 584/94) e 35,40 m (ai sensi del D.M. 24.03.1982).

L'opera è sottoposta a controllo e vigilanza da parte della Direzione Generale delle Dighe, U.T.D. di Palermo.

Allo stato attuale l'opera è in esercizio limitato per interrimento (oggi la quota fango è circa 84,65 m s.l.m. riscontrata nella visita di vigilanza del 4 settembre 2009) che ha determinato il blocco dello scarico di fondo; l'interrimento è stimato in circa 4 milioni di mc; con nota n. 241 del 15.03.1996 l'Ufficio periferico di Palermo del Servizio Nazionale Dighe, oggi U.T.D., ha limitato l'invaso alla quota 84,00 m s.l.m..

Il collaudo ai sensi dell'art. 14 del D.P.R. 1363/59 è in corso.

I dati principali relativi alla diga sono di seguito riassunti:

Parametro	Valore
- Bacino imbrifero diretto	82 Km ²
- Bacino allacciato: (torrente Rizzuto) <i>N.B. La condotta di allaccio è attualmente dismessa.</i>	55 Km ²
- Altezza diga:	35,40 m (D.M. '82) 29,00 m (L. 584/94)
- Quota coronamento:	93,00 m s.l.m.
- Larghezza del coronamento:	6,00 m
- Sviluppo del coronamento:	680,00 m
- Franco:	1,60 m
- Quota massimo invasore:	91,40 m s.l.m.
- Quota massima regolazione.:	89,00 m s.l.m.
- Volume totale di invasore:	9,90 × 10 ⁶ m ³ (D.M. '82) 7,80 × 10 ⁶ m ³ (L. 584/94)
- Volume utile di regolazione:	6,00 × 10 ⁶ m ³ (di progetto) 1,52 × 10 ⁶ m ³ (a seguito interrimento)
- Volume di capacità morta:	1,80 10 ⁶ m ³
- Volume di laminazione:	2,1 × 10 ⁶ m ³
- Portata di massima piena (di progetto):	900 m ³ /s
- Scarico di superficie: sfioratore a becco d'anatra quota soglia 89,00 m s.l.m.; portata di progetto 700 m ³ /s	

- Scarico di fondo: quota soglia 66,00 m s.l.m.; portata di progetto 60 m³/s (esitata con livello del serbatoio alla quota 89,00 m s.l.m.)
- Scarico ausiliario: per sopperire alle carenze dello scarico di fondo, sono stati realizzati n. 3 sifoni in tubi di acciaio ϕ 900 della portata complessiva di 6,00 m³/s, disposti nella zona di raccordo tra il becco d'anatra dello sfioratore ed il canale fuggatore
- Presa irrigua di progetto: quota soglia 78,21 m s.l.m., posizionata sopra lo scarico di fondo; portata di progetto 2,00 m³/s
- Presa irrigua ausiliaria: attualmente dismessa in seguito al ripreso funzionamento della derivazione irrigua principale. La presa ausiliaria fu realizzata a seguito dell'interrimento della presa di progetto, installando un sifone in polietilene del diametro ϕ 500 affiancato ai sifoni dello scarico ausiliario.

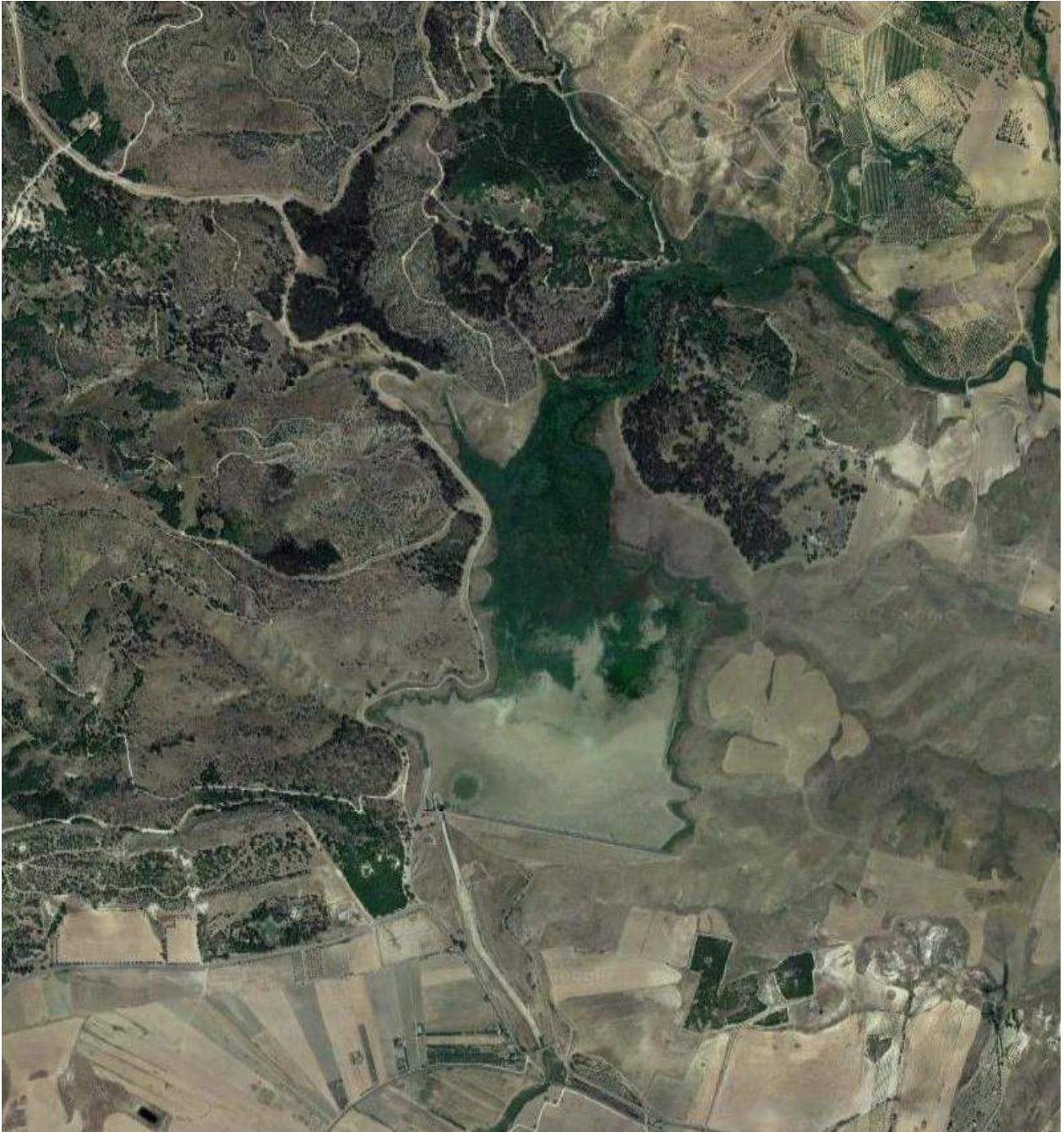


Figura 1.3 - Invaso Comunelli, foto satellitare.

1.2. QUADRO CONOSCITIVO GENERALE E OBIETTIVI DELL'INTERVENTO

A causa della notevole erodibilità del bacino imbrifero sotteso, costituito prevalentemente da terreni argillosi, l'invaso ha subito nel tempo un progressivo interrimento che ha comportato l'accumulo nel serbatoio di grandi quantità di materiale solido, eroso prevalentemente nei periodi di pioggia intensa e di deflussi a carattere alluvionale.

In particolare, in occasione di un'intensa precipitazione, il 27 settembre 1971, caddero in meno di 3 ore ben 230 mm di pioggia ed il serbatoio si riempì, partendo dal minimo invasore, in circa 8 ore e sfiorò dallo scarico di superficie con un carico sulla soglia di circa 50 cm. Nel contesto di questo evento si ebbero cospicui apporti solidi che si accumularono, specie a ridosso della diga, fino a raggiungere l'imbocco dell'opera di presa irrigua.

Un intervento di cacciata, eseguito in tempi successivi, consentì di liberare l'imbocco della presa irrigua e di evacuare a valle, tramite lo scarico di fondo, una quantità di interrimento stimato in circa 350.000,00 mc. Furono attuate successivamente ulteriori periodiche cacciate mediante lo scarico di fondo, con evacuazione di un imprecisato volume di materiale solido.

L'interruzione delle suddette cacciate e gli ulteriori apporti solidi portarono negli anni successivi alla completa ostruzione dello scarico di fondo.

Dal rilievo batimetrico eseguito nel 2014 si è potuto stimare un volume d'interrimento di oltre $5,0 \times 10^6 \text{ m}^3$, con spessore massimo di circa 19,00 m in corrispondenza dello scarico di fondo.

L'entità specifica del trasporto solido può essere valutata mediamente in circa 130.000 m^3/anno , tenuto conto anche delle cacciate effettuate nei primi anni '70, ed in particolare di quella consistente di cui si è detto sopra.

L'interrimento del serbatoio ha cumulato tutti gli effetti indesiderati che, a vario grado nel corso del tempo, hanno influenzato sia la disponibilità della risorsa idrica che la sicurezza del serbatoio stesso.

Per quanto riguarda la sicurezza, va evidenziato che l'attuale interrimento comporta il completo annullamento della funzionalità dello scarico di fondo, che era l'unico organo di vuotamento del serbatoio.

Per quanto riguarda la gestione dell'invaso, va evidenziato come la capacità utile del serbatoio è stata compromessa, con conseguente precario e insufficiente servizio al comprensorio irriguo cui è asservita l'opera. Alla riduzione del volume utile di regolazione sostituito dal sedimento, si è aggiunta la limitazione d'invaso imposta dal Servizio Nazionale Dighe, che ha disposto nel 1996 la limitazione della quota d'invaso a 84,00 m s.l.m., oggi inferiore alla quota raggiunta dal fango.

La suddetta limitazione da parte del Servizio Nazionale Dighe fu fatta a seguito di uno studio per la determinazione della piena con tempo di ritorno 1000 anni. Tale studio portò alla determinazione della quota di 84,00 m s.l.m. come livello massimo ammissibile per garantire lo smaltimento di tale piena, senza apportare modifiche strutturali allo sbarramento ed allo scarico di superficie.

La suddetta quota di 84,00 m s.l.m., allo stato attuale, non può essere più rispettata, in quanto il livello medio dei sedimenti ha raggiunto la quota di 85,00 m s.l.m., pertanto per garantire lo smaltimento della piena millenaria si sono studiate soluzioni alternative che prevedono, oltre al necessario ripristino della funzionalità dello scarico di fondo, l'abbassamento della soglia dello sfioratore di superficie.

Per quanto sopra, il presente studio prevede la riabilitazione dello scarico di fondo mediante la rimozione dei sedimenti in prossimità dell'imbocco dello scarico stesso e la risagomatura dello scarico di superficie, mediante abbassamento della soglia, per garantire lo smaltimento della piena millenaria.

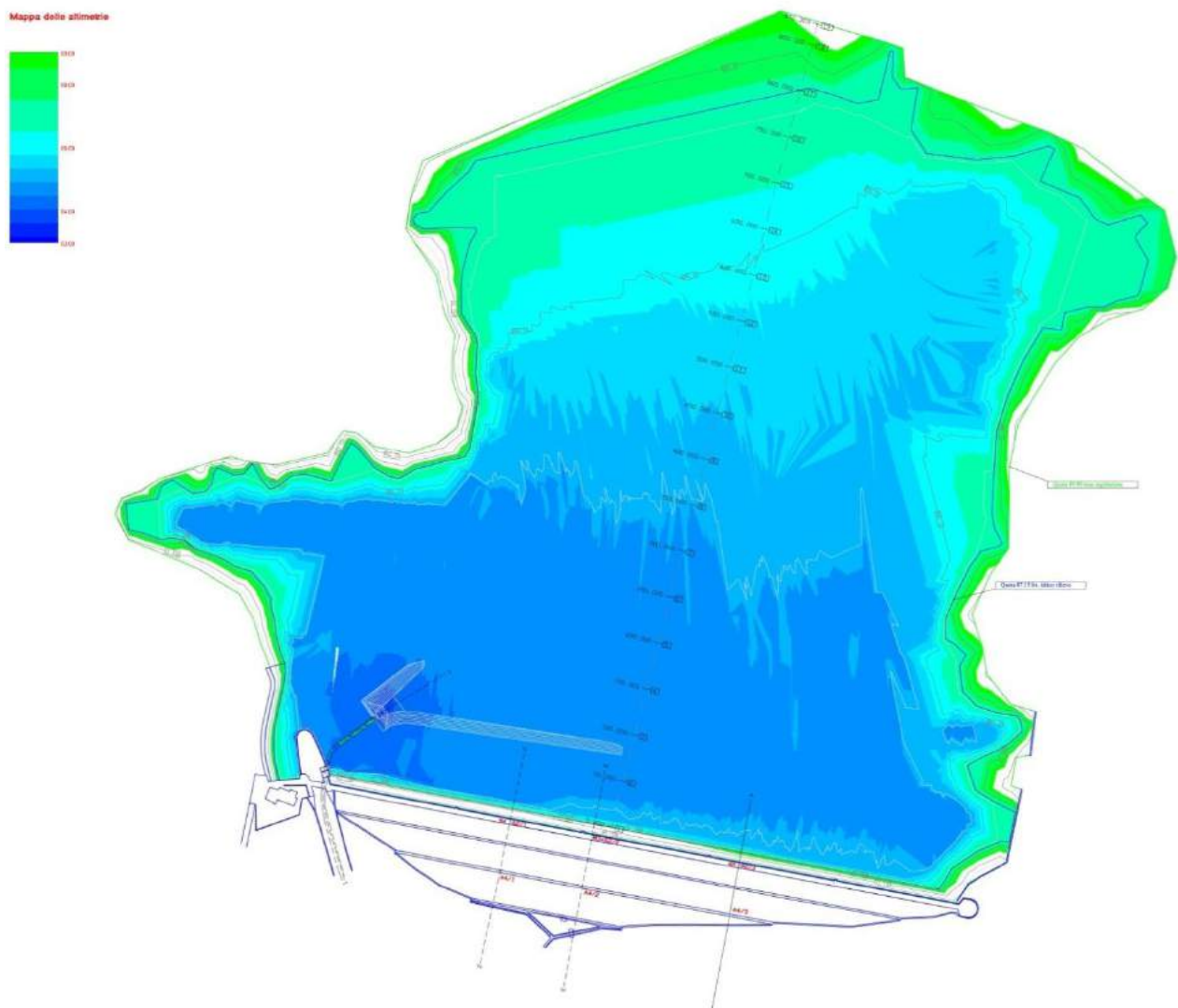


Figura 1.4 – Mappa delle altimetrie relative al rilievo Batimetrico del 2014 della diga Comunelli

1.3. ANALISI DELLO STATO DI FATTO

1.3.1. Le opere di scarico

Le opere di scarico dell'invaso Comunelli sono costituite da:

- scarico di superficie: ubicato in sponda destra, ha imbocco sagomato a becco d'anatra con soglia libera a quota 89,00 m s.l.m., corrispondente al livello massimo di regolazione. Lo sfioratore ha uno sviluppo complessivo di circa 100 m e la soglia si presenta sagomata secondo il profilo Creager-Scimemi.

La struttura è realizzata in c.a. e la sezione delle pareti è assimilabile ad un muro di grosso spessore al cui interno è presente un nucleo realizzato con materiale di riempimento in pietrame di pezzatura variabile

Segue un canale fugatore all'aperto della lunghezza di circa 218,00 m, che immette in apposita vasca di dissipazione del tipo a risalti gradualmente. Alla vasca fa seguito un canale di raccordo all'alveo del torrente Comunelli. L'espressione della portata di scarico risulta:

$$Q = 188,27 \times (q_i - q_s)^{3/2}$$

con: q_i = quota invaso

q_s = quota soglia di sfioro = 89,00 m s.l.m.

Con livello alla quota di massimo invaso (91,40 m s.l.m.) la portata risulta pari a 700 m³/s e, grazie all'effetto di laminazione del serbatoio, consente di controllare una piena con colmo di 900 m³/s.

- canale dello scarico di superficie: ha sezione trapezia e si immette nella vasca di smorzamento – munita di setti frangicorrente – mediante uno scivolo.

La larghezza al fondo di detto canale è di 13,00 m, sponde verticali e profondità di 6,00 m; la lunghezza del canale è di circa 260,00 m; la pendenza varia dall'1,88% del primo tratto, lungo circa 120 m, all'11% del restante tratto fino alla vasca di smorzamento; la sezione è interamente rivestita in calcestruzzo.

- La vasca di dissipazione: ha forma trapezia con sponde alte 6 metri; i setti trasversali frangicorrente hanno un'altezza variabile da 18 cm a 80 cm.

La larghezza al fondo della vasca di dissipazione varia, nella prima parte, da un minimo di 23,00 m, nel punto in cui il canale dello scarico di superficie si immette nella vasca e cresce fino ad un massimo di 34,00 m dopo un tratto di pari lunghezza ovvero di 34,00 m. La larghezza si mantiene costante e pari a 34,00 m per un tratto di lunghezza pari a 68,00 m, dopo il quale la vasca di dissipazione si restringe nuovamente fino alla larghezza di 18,00 m per un tratto di lunghezza pari a 40,00 m; al termine della vasca di

dissipazione inizia il tratto di canale di restituzione, in cui la sezione è interamente rivestita in calcestruzzo, di lunghezza pari a 480 m e larghezza di 18,00 m.

- scarico di fondo: è costituito da un'opera d'imbocco sagomato a pipa con soglia a quota 66,00 m s.l.m. e successiva galleria disposta in sponda destra, con fondo a quota 61,87 m s.l.m.. La galleria è intercettata da una coppia di paratoie piane di dimensione 1,50 x 2,20 m.

A valle la galleria prosegue fino ad immettersi nello scivolo dello scarico di superficie recapitando nella vasca di smorzamento.

La sezione della galleria è circolare $\phi = 2,40$ m, nella tratta di circa 99,00 m a monte delle paratoie, e policentrica 3,30 x 4,05 m nella tratta di valle.

L'espressione della portata di scarico risulta:

$$Q = 11,33 \times (q_i - q_b)^{1/2}$$

con: q_i = quota invaso

q_b = quota baricentrica paratoie = 60,95 m s.l.m.

Con livello alla quota massima di regolazione pari a 89,00 m s.l.m., la portata di scarico risulta pari a 60 m³/s.

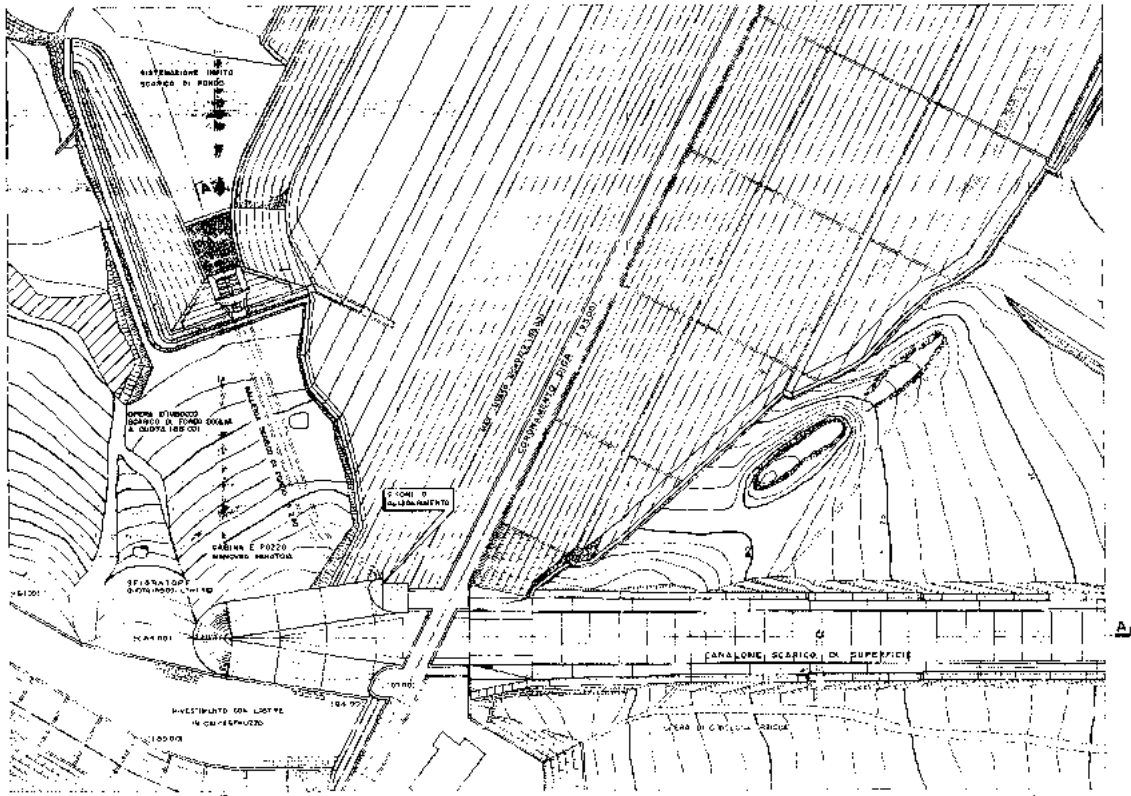


Figura 1.5 – Planimetria delle opere di scarico della diga Comunelli

- Organi d'intercettazione e derivazione: gli organi d'intercettazione dello scarico di fondo, come già sopra riportato, sono costituiti da n. 2 paratoie piane a strisciamento disposte in serie, delle dimensioni di 1,50 x 2,20 m.

Le paratoie sono manovrate da pistone oleodinamico, comandato da apposita centralina oleodinamica alimentata dall'impianto elettrico.

Tali paratoie sono installate in apposita camera paratoie, a pianta ellittica con dimensioni interne massime 6,30 x 4,00 m; l'altezza della camera è di 3,15 m, mentre il piano di calpestio è disposto a quota 64,65 m s.l.m.; la battuta delle paratoie è a quota 59,85 m s.l.m..

L'accesso alla camera avviene da apposito pozzo circolare ϕ 4,00 m, il quale si eleva fino alla quota coronamento diga, ove è disposta la cabina d'accesso.

La parte sommitale del pozzo risulta incorporata nella spalla sinistra del canale dello scarico di superficie, che realizza il contenimento del rilevato diga. Nella camera paratoie è alloggiato anche l'aeroforo a rientrata d'aria DN 800, con punto di presa disposto subito a valle delle paratoie.

La condotta di derivazione è costituita da una tubazione metallica DN 600, proveniente dall'opera d'imbocco dello scarico di fondo e alloggiata nella galleria dello scarico stesso, e da una bocca secondaria, disposta nella stessa galleria subito a monte delle paratoie e collegata a una seconda condotta metallica DN 600.

La condotta proveniente dalla presa principale, disposta in calotta in asse galleria, risulta completamente annegata fino al blocco paratoie nel getto di calcestruzzo che realizza il riempimento fra il priverestimento galleria, a sezione policentrica di altezza pari a 3,80 m, e il rivestimento definitivo, a sezione circolare $\phi = 2,40$ m.

La seconda condotta risulta tutta inserita nel blocco paratoie.

In corrispondenza della camera paratoie, le due condotte divergono dall'asse galleria per disporsi ai lati delle paratoie, ove sono ricavati due pozzetti simmetrici per l'alloggiamento degli organi d'intercettazione, costituiti da n. 2 saracinesche DN 600, a comando manuale.

Subito a valle, le due condotte si riuniscono in una sola condotta metallica DN 600, che si sviluppa lungo tutto il tratto della galleria di valle, alloggiata in calotta, ove risulta appesa mediante collari metallici.

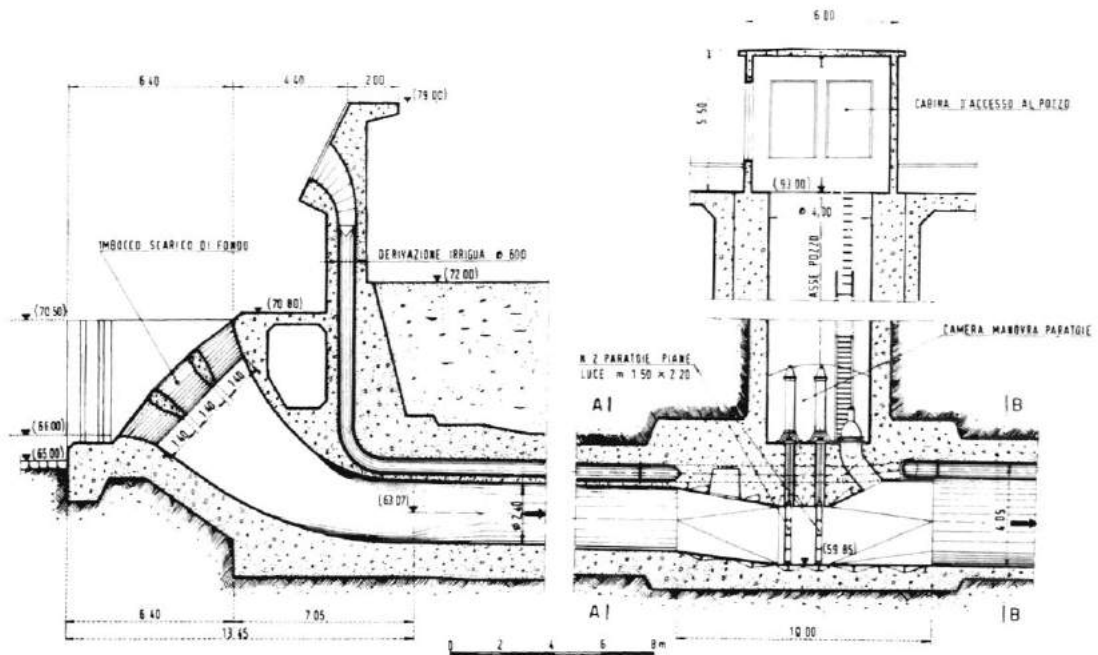


Figura 1.6 – Sezioni dell'opera di imbocco scarico di fondo e del pozzo paratoie della diga Comunelli

1.3.2. Stato di fatto dello scarico di superficie

Attualmente lo scarico di superficie risulta essere in stato di avanzato degrado, presentando distacco del copriferro di rivestimento oltre alla presenza di numerose permeazioni puntiformi sulle pareti sub verticali in corrispondenza delle riprese di getto.

Inoltre il suddetto scarico fu progettato per smaltire una piena con portata pari a $700 \text{ m}^3/\text{s}$, di entità inferiore a quella millenaria che ha portata stimata pari a $1.031 \text{ m}^3/\text{s}$.

1.3.3. Stato di fatto dello scarico di fondo e delle opere afferenti

Attualmente lo scarico di fondo risulta ostruito e non funzionante a causa dell'interrimento del serbatoio, che raggiunge il livello di $85,00 \text{ m s.l.m.}$ con un'altezza di circa $19,00 \text{ m}$ sopra la soglia di sfioro dell'opera di imbocco, disposta a quota $66,00 \text{ m s.l.m.}$.

Anche la galleria di scarico, nella tratta a monte paratoie, risulta otturata dagli stessi fanghi e le opere metalliche e le apparecchiature relative allo scarico di fondo e alla derivazione irrigua risultano in uno stato di conservazione estremamente compromesso per l'avanzato grado di corrosione, conseguente anche al lungo periodo di fuori servizio delle opere stesse.

Altresì le due saracinesche della derivazione irrigua e l'aeroforo risultano irrecuperabili perché affette da un elevato strato di corrosione.

Oltre a ciò, lo stesso pozzo di manovra risulta impraticabile sia per le diffuse infiltrazioni idriche, specie nella parte più profonda, che per il conseguente stato di dissesto della parete e di gran parte della scala metallica, che risulta attualmente compromessa dalla ruggine ed in parte

sostituita con una struttura metallica svincolata dalla parete del pozzo e poggiante sul fondo dello stesso pozzo.

Infine per quanto concerne la condotta di derivazione di valle, essa si presenta estesamente interessata da ossidazione rugginosa ed in buona parte compromessa nella sua resistenza e funzionalità.

Al fine di sopperire al fuori esercizio dello scarico di fondo è stato realizzato nel 1995 un sistema di scarico ausiliario costituito da n. 3 sifoni in acciaio DN 900 mm ubicati in prossimità della torre di manovra paratoie, ognuno dei quali è innescato attraverso un'elettropompa per vuoto di potenza pari a 4 Kw. Le n. 3 elettropompe sono state sostituite con altrettante elettropompe ciascuna di potenza pari a 11 Kw.

1.4. FINALITÀ PROGETTUALI

Il presente studio prevede il riefficientamento degli organi di scarico sia di fondo che di superficie. Tale intervento rappresenta un'esigenza prioritaria per ragioni di sicurezza dello stesso impianto e delle zone poste a valle della diga. Si precisa in particolare quanto segue:

- la riabilitazione dello scarico di fondo prevede la rimozione dei sedimenti dall'area circostante l'imbocco dello scarico di fondo, il ripristino della galleria di scarico e delle apparecchiature d'intercettazione.
- il riefficientamento dello scarico di superficie è previsto sostanzialmente mediante la risagomatura dell'intera soglia sfiorante tramite un taglio, a quota 88,00 m s.l.m., con piano orizzontale tale da formare uno stramazzo a larga soglia su tutto lo sviluppo dello sfioratore.

Per quanto concerne la riabilitazione dello scarico di fondo, il presente studio di fattibilità prevede un intervento di rimozione dei sedimenti limitato al solo volume necessario e sufficiente al completo recupero della funzionalità dello scarico stesso, rimandando a tempi successivi eventuali sfangamenti di zone di più vaste proporzioni, tesi a consentire il recupero della capacità d'invaso.

L'intervento di ripristino dello scarico di fondo, risultando interferente con l'invaso, dovrà necessariamente essere realizzato a serbatoio vuoto e in presenza dei fanghi di sedimentazione che nella situazione attuale si considerano cautelativamente a quota 85,00 m s.l.m..

La riabilitazione dello scarico di fondo non richiede solo la rimozione dei sedimenti dall'area circostante l'imbocco dello scarico stesso, ma anche la ripulitura della galleria fugarice, fino alle paratoie d'intercettazione. Inoltre, per il ripristino delle apparecchiature di intercettazione, attualmente bloccate e in stato di avanzato degrado per profonda ossidazione, si

prevede la sostituzione delle parti metalliche irrimediabilmente compromesse e delle apparecchiature elettriche ed oleodinamiche. E' ulteriormente previsto, dato lo stato di degrado, un intervento di manutenzione del pozzo di accesso alla camera di manovra consistente sommariamente nella sostituzione della scala metallica e nel ripristino del rivestimento delle pareti.

Per quanto concerne lo scarico di superficie, al fine di garantire la sicurezza idraulica è stata prevista la risagomatura dello sfioratore di superficie, consistente nella riduzione di 1,00 m della quota di sfioro (da quota 89,00 m s.l.m. a 88,00 m s.l.m.) mediante taglio dello sfioratore per il suo intero sviluppo, che ripristinerebbe il franco di 1,6 m di progetto anche in caso di eventi di piena estremi, garantendo margini di sicurezza idrologici superiori a quelli attuali. Sono inoltre previsti lavori di manutenzione sulla struttura muraria dello scarico di superficie in quanto, come già accennato, lo scarico presenta su alcune parti delle pareti distacco del copriferro di rivestimento; inoltre sono presenti permeazioni puntiformi sulle pareti sub verticali soprattutto in corrispondenza delle riprese di getto.

La modifica apportata allo sfioratore comporta la necessità di affiancare al citato taglio anche interventi di locale sopralzo delle pareti laterali del canale fuggatore, in corrispondenza del tratto immediatamente a valle dello sbarramento, al fine di evitare possibili esondazioni dallo stesso verso il vicino paramento di valle della diga.

1.5. ALTERNATIVE PROGETTUALI

1.5.1. Scarico di superficie

Lo studio della capacità di laminazione e modulazione dell'onda di piena millenaria con uno scarico di fondo modificato e uno sfioratore ribassato ed a larga soglia fatto dall'ex ARRA Settore Infrastrutture per le Acque – Area di Direzione nel marzo 2009 proponeva di individuare e analizzare dal punto di vista idraulico quali modifiche alle opere di scarico esistenti potevano consentire di aumentare i volumi immagazzinati nel serbatoio garantendo il non superamento della quota di massimo invaso.

In particolare si sono analizzati gli effetti della laminazione della piena millenaria nell'ipotesi in cui l'attuale sfioratore di superficie con profilo Creager – Scimemi venisse modificato con uno stramazzo a larga soglia avente sia la quota che la lunghezza variabile.

Inoltre si è studiato l'effetto combinato della laminazione e modulazione della piena nel caso in cui fosse ripristinato lo scarico di fondo secondo quanto previsto nel progetto SIA in data ottobre 2007.

La studio è stato diviso in tre parti:

Parte I. Calcolo della portata uscente dallo scarico di fondo modificato e studio dell'effetto combinato laminazione e modulazione .

Parte II. Verifica della capacità di laminazione di uno sfioratore di superficie con stramazzo a larga soglia al variare della quota di sfioro.

Parte III. Studio della laminazione della piena millenaria di uno sfioratore Creager - Scimemi tagliato parzialmente con un piano orizzontale.

In tutti i casi è stato utilizzato l'idrogramma di piena con tempo di ritorno $T_r = 1000$ anni con una portata di picco pari a $1030,50 \text{ m}^3/\text{s}$, che si raggiunge dopo circa 4 ore (Studio Verifiche Idrauliche condotto dal SIA).

Alla luce dei risultati ottenuti si è arrivati alla conclusione che le modifiche apportate allo sfioratore di superficie possono consentire di aumentare i volumi immagazzinati nel serbatoio garantendo il non superamento della quota di massimo invaso di progetto, tutto ciò contenendo i costi e la durata degli interventi.

In particolare si è osservato (**parte I**) che:

- qualora venisse tagliato lo scarico di superficie con un piano orizzontale posto alla quota $88,00 \text{ m s.l.m.}$ e venisse ripristinato lo scarico di fondo secondo le modifiche previste nel progetto SIA in presenza di un evento di piena con tempo di ritorno 1000 anni la portata massima uscente dallo scarico di fondo risulterebbe pari a $66,12 \text{ m}^3/\text{s}$ e si raggiungerebbe dopo circa 4 ore, in corrispondenza del quale la quota massima dell'invaso raggiunge i $91,10 \text{ m s.l.m.}$;
- Inoltre contemporaneamente la portata massima uscente dallo scarico di superficie sarebbe pari a $884,00 \text{ m}^3/\text{s}$ cioè $184,00 \text{ m}^3/\text{s}$ maggiore di quella di progetto ($Q_C = 700 \text{ m}^3/\text{s}$);
- Nel caso reale invece in cui la luce di fondo è ostruita la portata uscente dallo scarico di superficie è $889,70 \text{ m}^3/\text{s}$ e la quota di massimo invaso raggiunta è pari a $91,14 \text{ m s.l.m.}$ e quindi la quota di massimo invaso imposta di $91,40 \text{ m s.l.m.}$ non viene superata.

Sulla base delle elaborazioni effettuate (**parte II**) si è osservato che:

- la quota di massimo invaso ($91,40 \text{ m s.l.m.}$) non verrebbe mai superata se lo sfioratore attuale venisse tagliato con un piano orizzontale profondo 80 cm (quindi se la soglia di sfioro fosse alla quota $88,20 \text{ m s.l.m.}$); in questo caso la portata massima uscente ($898,00 \text{ m}^3/\text{s}$) rilasciata solo dallo scarico di superficie è di circa $198,00 \text{ m}^3/\text{s}$ maggiore di quella prevista in progetto complessivamente rilasciata dallo scarico di fondo e da quello di superficie ($Q_F = 60,00 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_C = 700 \text{ m}^3/\text{s}$);
- inoltre se lo sfioratore attuale venisse tagliato con un piano orizzontale profondo 60 cm e quindi la soglia di sfioro fosse alla quota $88,40 \text{ m s.l.m.}$ la portata massima

uscite rilasciata dallo scarico di superficie sarebbe sempre la stessa, ma la quota di massimo invaso (91,40 m s.l.m.) verrebbe superata di 10 cm per circa 15 minuti.

Lo studio della capacità di laminazione di un ipotetico sfioratore di superficie realizzato inserendo nello scarico esistente con profilo Creager – Scimemi uno stramazzo a larga soglia di profondità un metro e lunghezza variabile (**parte III**) ha dimostrato che:

- operando un taglio di 60 metri sull'attuale sfioratore il franco di progetto viene impegnato per 1 cm e per meno di 15 minuti (senza scarico di fondo), tale durata si annulla se si mette in funzione lo scarico di fondo;
- le portate uscenti complessive (scarico di fondo e sfioratore di superficie) si mantengono costanti e pari a circa 910,00 m³/s, mentre le portate effluenti dallo scaricatore Creager modificato si riducono all'aumentare del taglio.

Il caso che praticamente evita il superamento della quota di massimo invaso di progetto anche in assenza di scarico di fondo è quello di un taglio del profilo Creager di 60 m e per una profondità di 1 m.

Ciononostante la soluzione presa in considerazione nel presente studio, anche a seguito di quanto prescritto dal Servizio Nazionale Dighe con nota prot. n. 4099 del 05.02.2011, è quella di eseguire un taglio con un piano orizzontale, posto a quota 88,00 m s.l.m. tale da formare uno stramazzo a larga soglia, su tutto lo sviluppo dello sfioratore.

1.5.2. Scarico di fondo

Nel presente studio di fattibilità la metodologia presa in considerazione per il recupero della funzionalità dello scarico di fondo prevede la rimozione dei sedimenti dall'area circostante l'originaria opera d'imbocco, la pulizia della galleria fugarice fino al blocco paratoie ed infine il ripristino delle stesse paratoie e delle apparecchiature connesse.

Tale intervento di ripristino, come già detto, risultando interferente con l'invaso, dovrà necessariamente essere eseguito a serbatoio vuoto e per la rimozione dei sedimenti, si dovrà procedere mediante scavo con mezzi meccanici e trasporto su idonei mezzi gommati capaci di trasportare la miscela fangosa fino al sito di stoccaggio. Tale scelta viene ipotizzata poiché l'utilizzo di tecniche di rimozione tramite draga su natante sarebbe possibile solo in presenza di un idoneo tirante idrico.

La rimozione dei sedimenti, per evitare possibili refluentamenti verso l'imbocco dello scarico di fondo, dovrà avvenire con un angolo d'inclinazione non superiore a $\alpha = 10^\circ$ sull'orizzontale.

Se lo scavo, con tale angolo d'inclinazione, partisse dalla quota della soglia dell'imbocco pari a 66,00 m s.l.m., si otterrebbe un volume dei sedimenti da rimuovere stimato in circa

230.000 m³, i cui tempi di rimozione non sarebbero compatibili con quelli a disposizione per eseguire i lavori. Inoltre i costi di rimozione e smaltimento sarebbero eccessivamente onerosi.

Si è quindi ipotizzato di eseguire dapprima uno scavo a pozzo che parte dalla quota d'imbocco dello scarico per un'altezza di 10 m, ed un successivo scavo con un angolo d'inclinazione di 10° gradi, dalla quota di 10 m sopra l'imbocco fino all'attuale quota sedimenti.

In quest'ultimo caso si otterrebbe un volume dei sedimenti da rimuovere stimato in circa 60.000 m³, i cui tempi di rimozione sarebbero compatibili con quelli a disposizione per eseguire i lavori ed anche i costi di rimozione e smaltimento sarebbero ammissibili.

Un precedente studio redatto nel 2005 dal SIA e dall'ing. Tripi, commissionato dall'allora gestore, proponeva, in alternativa al ripristino dell'originaria opera d'imbocco, la realizzazione di una nuova opera d'imbocco (vedi figura 1.7), ubicata in asse alla galleria esistente, a cui sarebbe risultata collegata, ma in posizione arretrata rispetto all'imbocco originario di circa 48,00 m. L'opera era costituita essenzialmente da un pozzo circolare, scavato nel terreno in posto e collegato alla galleria esistente, e da un torrino di presa superiore con soglia circolare al ciglio disposto a quota 85,20 m s.l.m..

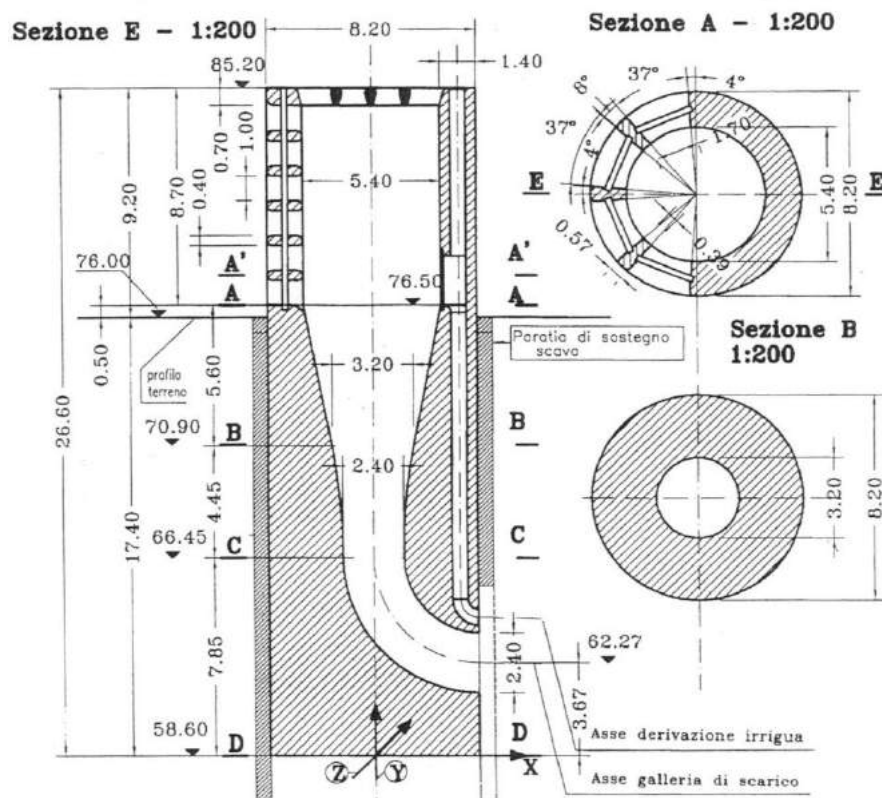


Figura 1.7 – Sezione della nuova opera di imbocco scarico di fondo (alternativa progettuale)

L'intero torrino di presa era previsto a sezione circolare con diametro esterno di 8,20 m ed interno di 5,40 m, munito, sul lato verso invaso, da n. 6 serie di luci sovrapposte e intercettabili mediante panconature removibili, e sulla sommità del torrino era prevista la bocca

di presa principale, in posizione orizzontale e delimitata da una soglia circolare, con diametro esterno di 8,20 m e crociera di protezione composta da travi di c.a..

Considerato che l'interrimento del serbatoio allo stato attuale raggiunge circa quota 85,00 m s.l.m., il suddetto torrino di presa come previsto nello studio, resterebbe quasi completamente interrato nei fanghi di sedimentazione. Il torrino infatti si eleverebbe sopra il livello dei fanghi di soli 20 cm, con la soglia di presa superiore che risulterebbe l'unica funzionante con l'interrimento attuale. L'importo del suddetto intervento, che prevedeva anch'esso il ripristino del condotto di scarico e delle apparecchiature d'intercettazione, a seguito dell'aggiornamento dei prezzi risulta pari a circa € 7.000.000,00.

Nel presente studio di fattibilità tale soluzione non è stata presa in considerazione, sia per gli elevati costi di realizzazione, sia perché il suddetto torrino, così come previsto nel progetto del SIA, risulterebbe quasi completamente interrato nei fanghi di sedimentazione, sia per i prolungati tempi di esecuzione del nuovo imbocco.

1.6. MODALITÀ GESTIONALI

Come già sopra riportato, limitatamente ai lavori per il ripristino dello scarico di fondo, questi dovranno necessariamente essere eseguiti a serbatoio vuoto, pertanto durante l'esecuzione del suddetto intervento non potrà essere garantita la fornitura della risorsa idrica per uso irriguo al comprensorio ricadente nei territori di Gela e Butera.

Per limitare il suddetto disservizio, si prevede che l'esecuzione dei lavori venga concentrata nei pochi mesi di magra.

2. FATTIBILITÀ TECNICA

2.1. INDICAZIONI TECNICHE, TIPOLOGIA E LOCALIZZAZIONE INTERVENTI SULLO SCARICO DI SUPERFICIE

Il riefficientamento dello scarico di superficie, come già scritto, prevede il taglio di 1 m della soglia con un piano orizzontale, posto a quota 88,00 m s.l.m. tale da formare uno stramazzo a larga soglia per tutto lo sviluppo dello sfioratore.

E' anche previsto un intervento di manutenzione delle pareti sub-verticali, per il rifacimento del copriferro ed il ripristino della tenuta dei giunti.

E' inoltre previsto il sopralzo delle pareti laterali del canale fugatore, nel tratto immediatamente a valle dello sbarramento, al fine di evitare possibili esondazioni dallo stesso verso il vicino paramento di valle della diga.

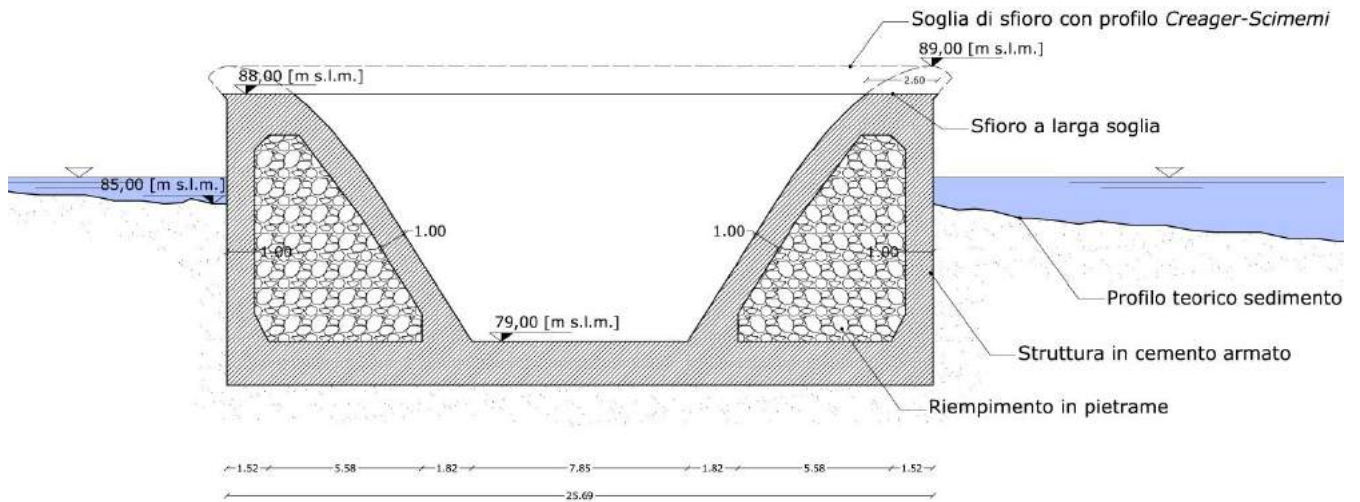


Figura 2.1. Sezione parete sfioratore a seguito di risagomatura

2.1.1. Intervento di risagomatura

L'intervento di risagomatura prevede di operare esclusivamente dall'interno dello scaricatore, realizzando le seguenti lavorazioni:

- Pulizia dell'intera superficie dello sfioratore;
- Montaggio di ponteggio fisso da ancorare lungo le pareti dello sfioratore;
- Realizzazione mediante fresa di fori passacavo sulla struttura dello sfioratore per passaggio filo diamantato;
- Taglio, sia orizzontale che verticale, delle pareti in c.a. con tecnica a filo diamantato;
- Realizzazione degli ancoraggi per l'aggancio, il sollevamento a mezzo di autogrù gommata e lo spostamento dei blocchi tagliati all'interno dell'area di cantiere;
- Realizzazione sul nuovo piano orizzontale di fori per l'ancoraggio dei ferri di armatura;
- Posa in opera mediante ancoraggio chimico dell'armatura di ripresa;
- Posa in opera mediante legature con filo di ferro e/o saldature della rete di acciaio elettrosaldato a fili nervati ad aderenza migliorata;
- Realizzazione di casseforme e successivo getto di conglomerato cementizio vibrato.

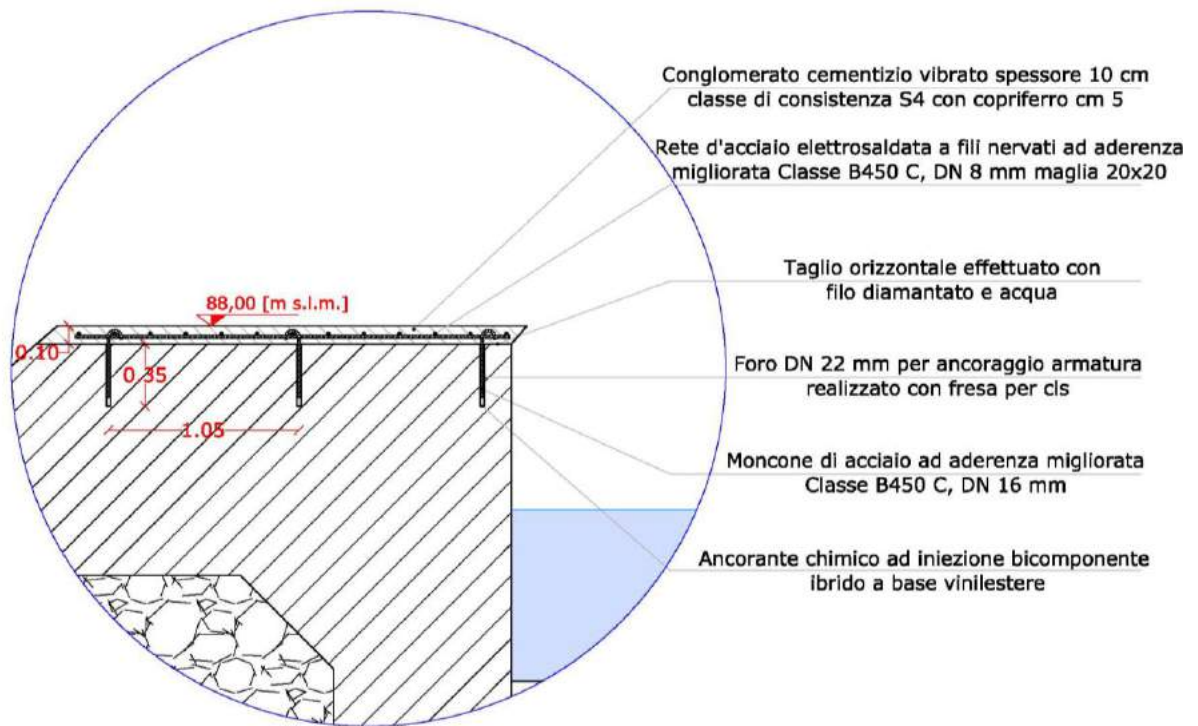


Figura 2.2: Particolare costruttivo risagomatura.

2.1.2. Intervento di ripristino copriferro e giunti di tenuta

L'intervento di ripristino del copriferro e della tenuta dei giunti prevede di operare sia dall'interno dello scaricatore che all'esterno cioè a monte (quindi tali lavorazioni devono essere effettuate a serbatoio vuoto) realizzando così le seguenti lavorazioni:

- Asportazione mediante idroscarifica di tutte le porzioni di cls. ammalorato, fino ad ottenere una superficie ruvida con asperità di circa 5 mm;
- lavaggio con acqua ad alta pressione per rimuovere eventuali frammenti di cls. parzialmente lesionato;
- trattamento dei ferri di armatura esposti durante le precedenti fasi con malta cementizia monocomponente per la passivazione dei ferri di armatura;
- ricostruzione, previo lavaggio con acqua in pressione, del copriferro con malta monocomponente tissotropica fibrinforzata, a ritiro compensato e resistente ai solfati, da applicarsi in spessori variabili fra 1 e 3 cm per mano;
- Esecuzione ai lati del giunto e/o della fessura dei fori disposti a quinconce, distanziati circa 50 cm l'uno con l'altro, in modo da intercettare il giunto e/o la fessura in profondità;
- fissaggio nei fori degli iniettori dotati di valvola di non ritorno;

- Sigillatura con iniezione di resina poliuretanica monocomponente a consistenza ultra fluida che a contatto con l'acqua aumenterà di volume sigillando i giunti e/o le fessure e bloccando le venute d'acqua.

2.1.3. Intervento di sopralzo delle pareti laterali del canale fugatore

L'intervento di Sopralzo delle pareti laterali del canale fugatore si rende necessario a seguito della prevista risagomatura dello sfioratore e del conseguente aumento della portata scaricata dallo stesso, che potrebbe comportare possibili esondazioni dal canale fugatore verso il vicino paramento di valle diga.

Per tale intervento si prevede una soluzione che non modifichi in alcun modo la struttura esistente, ma di realizzare un muro di sostegno in c.a. a parete verticale, da affiancare alla struttura esistente.

2.2. INDICAZIONI TECNICHE, TIPOLOGIA E LOCALIZZAZIONE INTERVENTI SULLO SCARICO DI FONDO

Per quanto concerne il ripristino dello scarico di fondo, comprendente sia la rimozione dei sedimenti dall'area circostante l'imbocco dello scarico di fondo, sia la pulizia della galleria fugatrice fino al blocco paratoie, sia infine il ripristino delle stesse paratoie e apparecchiature connesse, come già precedentemente esposto, risulta interferente con l'invaso e pertanto va eseguito a serbatoio vuoto e in presenza dei fanghi di sedimentazione, che dall'ultima batimetria effettuata nel 2014 risultano a quota 85,00 m s.l.m..

Pertanto, come già riportato, la rimozione dei sedimenti dall'area circostante l'imbocco dello scarico di fondo si prevede che venga eseguita mediante scavo con mezzi meccanici:

- una prima fase prevederà uno scavo a pozzo realizzato dall'attuale quota dei fanghi fino al raggiungimento dell'imbocco dello scarico di fondo, per una profondità complessiva di 19,00 m;
- una seconda fase prevederà uno scavo per la rimozione dei sedimenti per la formazione del cono di depressione avente un diametro di circa 132,00 m ed un angolo d'inclinazione rispetto all'orizzontale di circa 10 gradi, procedendo dalla zona più esterna del cono che si intende formare, in corrispondenza dell'attuale quota sedimenti, fino al raggiungimento dello scavo a pozzo a quota 10 m dall'imbocco.

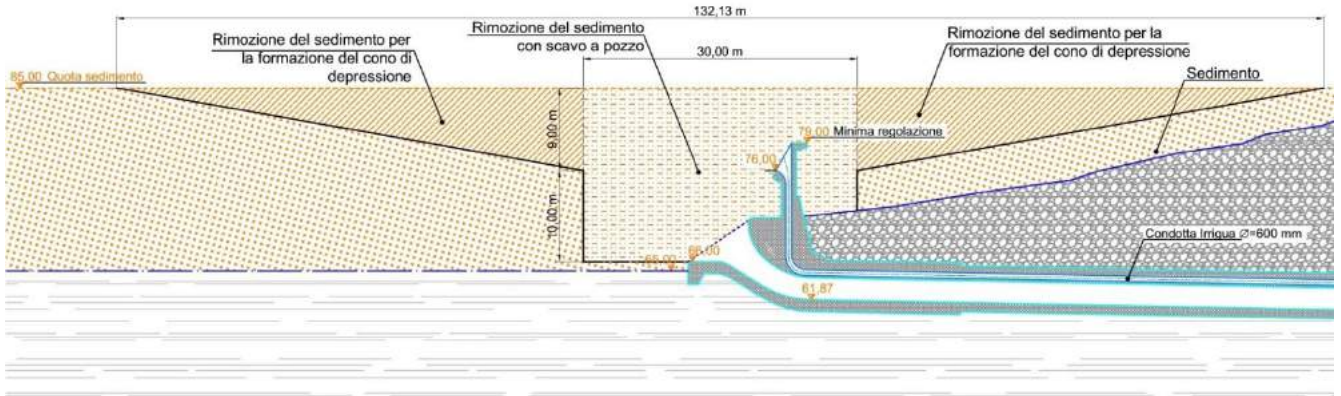


Figura 2.3 – Sezione dell'imbocco scarico di fondo con indicazione del sedimento da rimuovere

I lavori di cui sopra saranno eseguiti mediante adeguate opere provvisorie che consentano:

- il transito e il piazzamento delle macchine operative sopra il piano di interrimento, con appoggio indiretto sugli stessi fanghi di sedimentazione;
- lo scavo nei fanghi di sedimentazione e del sottostante terreno in posto per il raggiungimento dell'imbocco dello scarico di fondo esistente.

Va inoltre considerato che, per la situazione generale, il cantiere di lavoro relativo al ripristino dello scarico di fondo resta comunque esposto agli eventuali afflussi idrici naturali. Pertanto, pur prevedendo che tale lavoro sia concentrato in pochi mesi estivi ad afflussi estremamente modesti, si ritiene necessario prevedere opere provvisorie, che consentano di attuare un'adeguata deviazione dei deflussi.

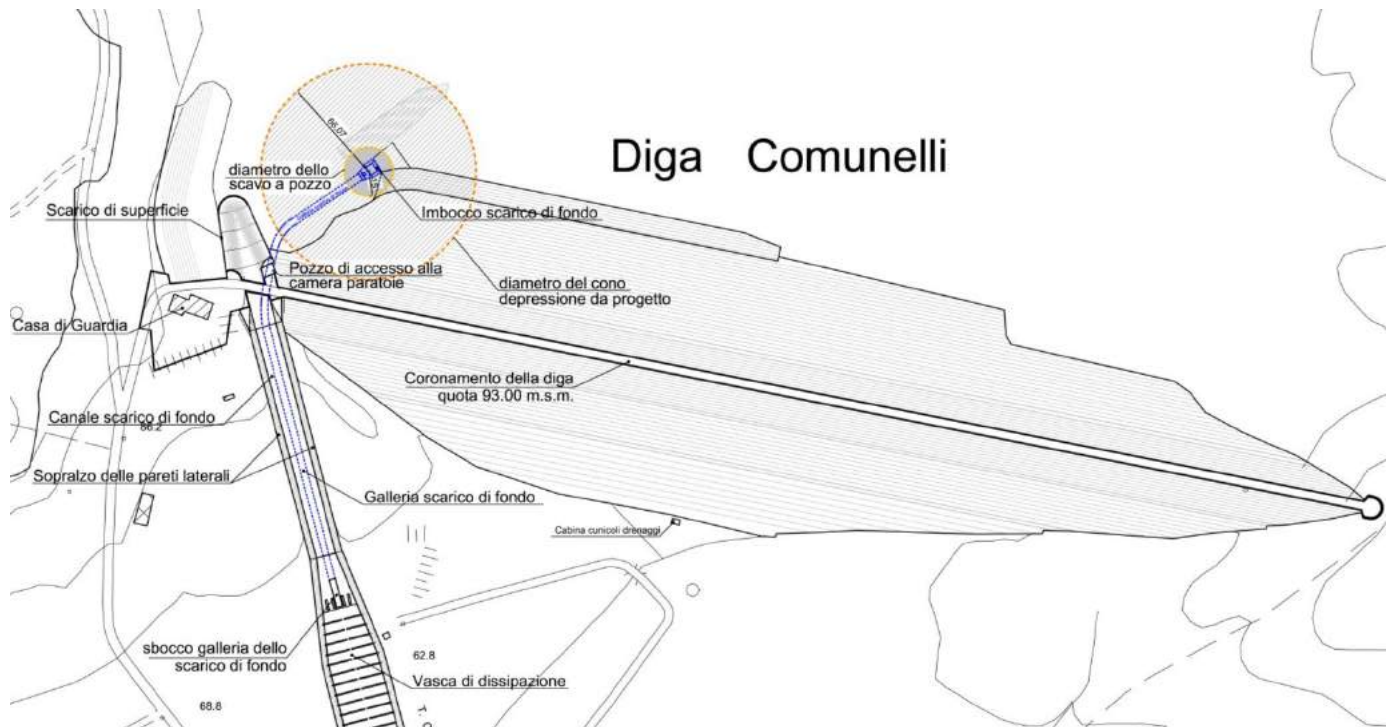


Figura 2.4 – Planimetria delle opere di scarico con indicazione dell'area di rimozione del sedimento

Da quanto sopra consegue la necessità di realizzare preventivamente due importanti interventi provvisionali e precisamente:

- la creazione di piste d'accesso e di una piattaforma di lavoro sia per lo scavo a pozzo che per la formazione del cono di depressione, che consentano di operare con adeguati mezzi d'opera nonostante la presenza dei fanghi, che date le loro limitate caratteristiche di resistenza e di consistenza, non sono atti a sopportare i relativi carichi;
- la realizzazione di una adeguata deviazione provvisoria dei deflussi, che dia garanzia di sicurezza al cantiere di lavoro anche in presenza di afflussi naturali al serbatoio.

È da precisare infine che la prevista deviazione provvisoria, anche se indispensabile per affrontare gli afflussi più ricorrenti, non potrà avere comunque una potenzialità elevata e quindi non potrà consentire di affrontare consistenti eventi di piena.

Ne consegue che i lavori relativi al ripristino dello scarico di fondo è opportuno che vengano eseguiti in periodi di magra e tempestivamente abbandonati nel caso di eventi di piena. Pertanto è necessario approntare un preciso piano di sicurezza e di emergenza che consenta di evacuare il cantiere di lavoro ogni volta si presentino condizioni meteorologiche tali da far prevedere eventi di piena di entità superiori a quelli controllabili con la citata deviazione provvisoria.

2.2.1. Caratterizzazione dei sedimenti e delle acque presenti nell'invaso

La rimozione dei sedimenti all'interno dell'invaso non può prescindere dalla conoscenza delle caratteristiche dei sedimenti stessi. Pertanto risulta necessaria una corretta caratterizzazione sia dei sedimenti da rimuovere che delle acque all'interno dell'invaso.

Nel caso in esame, vengono assunti n. 3 punti di campionamento a profondità di circa 30 m; per ciascun punto di campionamento si è pensato di analizzare n. 3 campioni di sedimento e n. 3 campioni di acqua.

Per ciascuno dei campioni di sedimenti dovranno essere effettuate indagini qualitative in conformità alle disposizioni contenute nel Titolo II, Capi I e II, e negli allegati del decreto legislativo n. 152 del 1999.

Per ciascuno dei campioni di sedimenti dovrà essere effettuata la ricerca degli inquinanti di cui all'allegato n. 1 del medesimo D.Lgs. n. 152 del 1999, tabella 5 (ORGANICI E METALLI: Arsenico, Cadmio, Zinco, Cromo Totale, Mercurio, Nichel, Piombo, Rame; ORGANICI: Policlorobifenili (PCB), Diossine (TCDD), Policiclici Aromatici (IPA), Pesticidi Organoclorurati).

Inoltre, le analisi riguarderanno tutti gli elementi e i composti di cui alla tabella 4.1 dell'allegato 4 del regolamento D.M. 10.08.2012, n. 161, da confrontare per il giudizio di qualità

con le Concentrazioni soglia di contaminazione (Csc) di cui alle colonne A e B della tabella 1 dell'Allegato 5 alla Parte quarta del D.Lgs. n. 152 del 2006 e successive modificazioni (Arsenico, Cadmio, Cobalto, Nichel, Piombo, Rame, Zinco, Mercurio, Idrocarburi C>12, Cromo totale, Cromo VI, Amianto, BTEX, IPA).

Per quanto riguarda la caratterizzazione dell'acqua invasata i punti di campionamento sono gli stessi che vengono impiegati per il campionamento dei sedimenti.

Nel caso in cui il battente idrico si riduca ad un metro, si effettuerà un solo campionamento per ogni punto.

Nel caso in cui il battente idrico abbia un'altezza prossima a due metri, si effettueranno due prelievi: uno in superficie, l'altro in profondità.

Con battente intorno a tre metri, si effettueranno i campionamenti previsti: in superficie, in profondità, alla quota intermedia.

Per le modalità di campionamento si dovrà fare riferimento a "Metodi analitici per le acque" (APAT, CNR-IRSA, 2003) e "Metodi Biologici per le acque. Parte I" (APAT, 2007) e/o al Manuale Unichim n. 144 (UNICHIM, 1985).

2.2.2. Rimozione dei sedimenti

I materiali sedimentati nel serbatoio si presume presentino caratteristiche geotecniche modeste e di conseguenza una capacità portante inadeguata ai carichi trasmessi dai mezzi d'opera necessari alla rimozione dei sedimenti stessi.

Si prevede quindi di attuare un consolidamento di tali materiali di deposito mediante getto e costipamento di materiale arido.

Tale materiale sarà sversato progressivamente, procedendo dalla sponda verso la zona dell'imbocco dello scarico di fondo, e costipato a rifiuto con gli stessi mezzi di trasporto.

Il costipamento sarà protratto fino a rifiuto, così da assicurare la penetrazione del rilevato fino al sottostante terreno in posto e di conseguenza una capacità portante adeguata ai mezzi d'opera di previsto impiego.

Con queste modalità sarà realizzata la pista d'accesso della larghezza di 6,00 m, a partire dalla sponda destra del serbatoio, e la piattaforma circolare di lavoro, per la quale è stato previsto un diametro di circa 38,00 m per l'esecuzione dello scavo a pozzo.

Il piano di lavoro sarà realizzato a quota 86,50 m s.l.m., cioè 1,50 m più alto del piano d'interrimento, considerato alla quota 85,00 m s.l.m., così da lasciare un sufficiente franco di sicurezza per la deviazione provvisoria.

Completato lo scavo a pozzo per il raggiungimento dell'imbocco dello scarico di fondo, con le stesse modalità sopra riportate verrà realizzata una seconda pista d'accesso per la rimozione dei sedimenti circostanti al pozzo scavato precedentemente, procedendo dalla zona

più esterna del cono di depressione che si intende formare, in corrispondenza dell'attuale quota sedimenti, fino al raggiungimento dello scavo a pozzo a quota 10,00 m dall'imbocco, con un angolo d'inclinazione dello scavo rispetto all'orizzontale di 10 gradi.

Quest'ultima pista che si estenderà attorno al cono di depressione avente diametro di circa 132,00 m, sarà quindi di forma circolare ed avrà una larghezza di 6,00 m.

Il volume complessivo del materiale da rimuovere può essere stimato in circa 59.500 m³. Tale materiale potrà essere facilmente stoccato in zone individuate a valle diga.

Per la realizzazione dello scavo a pozzo sono previste ulteriori due opere provvisorie da realizzare con paratie di pali accostati, a pianta circolare.

La prima struttura avrà la funzione di contenimento dei fanghi di sedimentazione, preventivamente consolidati con getto di materiale arido costipato, che formano la piattaforma di lavoro a quota 86,50 m s.l.m.. Tale struttura avrà una profondità di 9,00 m sotto i sedimenti e si ammorserà nel terreno per una ulteriore profondità di 3,50 m.

La seconda struttura avrà la funzione di contenimento del terreno circostante l'area attorno all'imbocco. Tale area di forma cilindrica, avrà un diametro di 30,00 m ed un'altezza di 10,00 m dalla soglia dell'imbocco. L'ammorsamento nel terreno di base sarà previsto pari a 3,50 m.

Ambedue le strutture possono resistere alla spinta delle forze esterne per l'effetto arco dato dalla pianta circolare.

Si precisa che la struttura superiore sarà demolita a fine lavori e pertanto dovrà essere realizzata con pali non armati, da trave di testa paratia debolmente armata; mentre la struttura inferiore, che non dovrà essere demolita, dovrà essere realizzata con pali armati e trave armata di testa paratia.

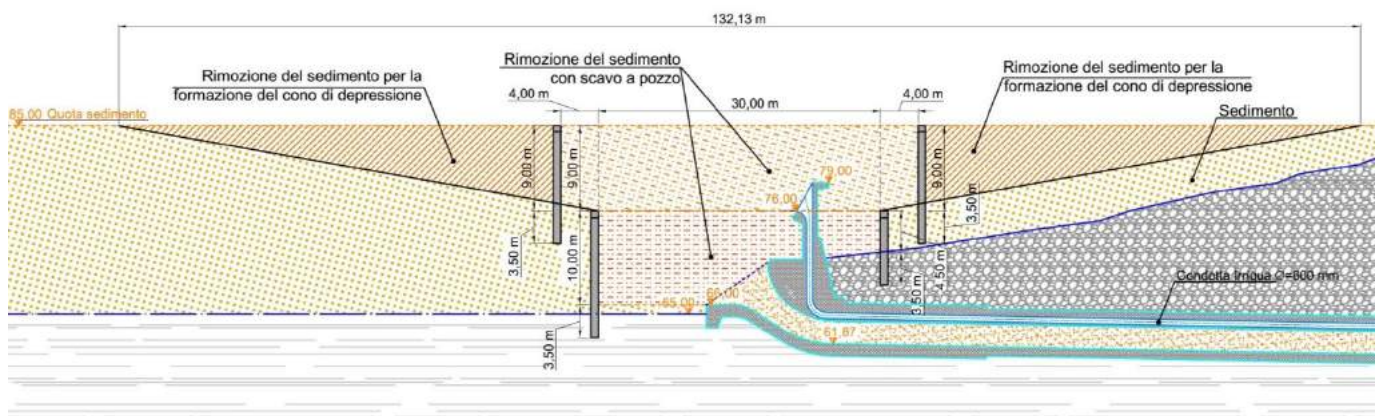


Figura 2.5 – Sezione dell'imbocco scarico di fondo con indicazione delle paratie di pali e del sedimento da rimuovere

Per quanto concerne i sedimenti rimossi, nell'ottica di svincolarli dalla definizione di rifiuto ed avviarli quindi al loro riutilizzo, è indispensabile individuare sul territorio un idoneo

luogo di stoccaggio. Il deposito provvisorio è particolarmente richiesto quando le caratteristiche chimico-fisico del sedimento rimosso e stoccato ne consentono il riuso, ovvero:

- i materiali grossolani possono trovare impiego come inerti ed in generale nelle costruzioni;
- i materiali argillosi o limosi, possono anch'essi costituire un materiale da costruzione nell'industria dei laterizi o delle terrecotte, o talvolta essere utilizzati nell'industria del cemento o più frequentemente riutilizzati come top-soil agricolo.
- per scopi ambientali, è ipotizzabile il trasporto del materiale solido rimosso dall'invaso fino alla zona costiera dove i sedimenti, opportunamente sistemati, potrebbero consentire di recuperare preziose superfici di spiaggia procedendo così ai ripascimenti costieri.

Per il caso in esame, la zona individuata nel presente studio di fattibilità per il deposito del materiale rimosso è situata a valle diga.

2.2.3. Deviazione provvisoria

Come già sopra indicato, la specifica finalità della prevista deviazione provvisoria dei deflussi naturali afferenti al serbatoio è quella di porre in sicurezza il cantiere di lavoro relativo al riefficientamento dello scarico di fondo, che è localizzato all'interno del serbatoio.

Il periodo operativo di tale cantiere deve essere previsto nei mesi di massima magra e pertanto non interessato da afflussi di entità consistente.

Tuttavia, dato che non si può escludere con certezza l'eventualità di eventi di piena anche nel suddetto periodo di massima magra, prudenzialmente si ritiene necessario prevedere opere provvisoriale che possano comunque assicurare il controllo delle piene più ricorrenti.

Attualmente l'unico dispositivo di scarico utilizzabile per il vuotamento del serbatoio è costituito dalla batteria di sifoni disposta in corrispondenza dello scarico di superficie, i quali possono evacuare una portata di circa $6 \text{ m}^3/\text{s}$.

Si prevede quindi di deviare gli afflussi provenienti dal torrente Comunelli e quelli provenienti dalla galleria afferente il torrente Rizzuto mediante sbarramenti provvisori e canalizzazione delle acque verso il canale dello scarico di superficie, per mezzo di idonee condotte e sistemi di pompaggio.

2.2.4. Organi d'intercettazione e derivazione

In relazione al ripristino della funzionalità di tutte le apparecchiature d'intercettazione e comando dello scarico di fondo e della derivazione irrigua si prevedono i seguenti interventi.

- Sostituzione integrale delle paratoie dello scarico di fondo e dei relativi accessori.
- Sostituzione di ambedue le saracinesche DN 600 della derivazione irrigua.

- Sostituzione dell'aeroforo DN 800, con tubo risalente fino alla sommità del pozzo.
- Sostituzione della centrale oleodinamica.
- Sostituzione del quadro elettrico di comando e dell'impianto elettrico ausiliario e di illuminazione;
- Sostituzione della scala di accesso alla camera paratoie.
- Sostituzione della parte ammalorata della condotta di derivazione a valle, e delle relative staffature.

La demolizione e sostituzione delle paratoie è un intervento che interferisce decisamente con la galleria di scarico, in cui potrebbero affluire acque del serbatoio. Tale intervento di demolizione dovrà quindi essere realizzato nello stesso periodo estivo nel quale è previsto il riefficientamento dello scarico di fondo e delle opere preliminari a questo.

Tuttavia i lavori d'installazione delle nuove paratoie potrebbero protrarsi, per cause connesse alla complessità delle apparecchiature da approntare, anche oltre il previsto periodo di sicurezza, ed in tale considerazione è prevista la realizzazione sulla galleria di monte di un setto di sicura difesa contro eventuali afflussi da monte. Inoltre saranno predisposti accessi sia dalla galleria di valle, per il transito di mezzi meccanici, sia dal pozzo per l'asportazione e la risistemazione delle parti metalliche.

2.2.5. Opere e lavori complementari

Sono previsti altri interventi complementari al ripristino delle apparecchiature di intercettazione dello scarico di fondo e della derivazione irrigua, che comprendono:

- la pulizia del tratto di galleria a monte paratoie;
- il risanamento del pozzo paratoie;
- il risanamento della condotta irrigua di valle.

2.2.5.1. Galleria a monte della camera paratoie

A causa del bloccaggio delle paratoie e dell'ostruzione completa dell'opera d'imbocco causata dai fanghi depositati nel serbatoio, non è stato possibile ispezionare il tratto di galleria a monte delle paratoie.

Tuttavia, proprio in considerazione del forte interrimento del serbatoio e della stessa opera d'imbocco, si può presumere che anche il tratto di galleria in questione risulti parzialmente o anche totalmente interessato dai fanghi di sedimentazione.

Pertanto si è ritenuto necessario prevedere un intervento di ripulitura della galleria, con asportazione di tutto il materiale eventualmente sedimentato.

Tale intervento sarà eseguito, per ragioni di sicurezza, nello stesso periodo estivo in cui sarà eseguito il ripristino dell'opera d'imbocco, dopo approntamento delle opere di deviazione

provvisoria, di quelle relative alla realizzazione e difesa del cantiere di lavoro relativo allo scavo a pozzo per il raggiungimento dell'imbocco dello scarico di fondo, così da avere un accesso alla galleria stessa anche da monte, per i necessari accertamenti della reale situazione esistente.

E' previsto che le operazioni di asportazione del materiale sedimentario avvengano più convenientemente con transito dalla galleria di valle mediante piccolo escavatore meccanico e adeguati mezzi di trasporto fino al pozzo delle paratoie ed all'imbocco di valle. Considerando cautelativamente che la galleria risulti completamente piena, il volume del materiale da asportare può essere stimato in circa 500 m³.

Tale materiale potrà essere facilmente stoccato in zone individuate a valle diga.

2.2.5.2. Pozzo Paratoie

Dato lo stato di degrado che interessa diffusamente il pozzo, si prevede di intervenire con la rimozione della scala metallica, sia nella parte ancorata alle pareti del pozzo che in quella poggiata sul fondo dello stesso.

Seguirà la rimozione di tutto lo spessore di rivestimento presente mediante demolizione meccanica o in alternativa, con idroscarifica, fino ad arrivare alla struttura in cemento armato, e la successiva saturazione di tutte le fessurazioni di entità apprezzabili mediante prodotti cementizi a rapida presa o a base di resine.

Si procederà quindi con il ripristino dello strato di rivestimento, eseguito mediante applicazione di malta cementizia tissotropica fibrorinforzata, a ritiro compensato e resistente ai solfati, ed infine alla protezione di tutte le superfici ripristinate, mediante impermeabilizzazione con l'applicazione di malta cementizia bicomponente elastica.

Completati i lavori di manutenzione delle pareti del pozzo si procederà al rifacimento della scala metallica ed al ripristino dell'impianto di illuminazione del pozzo di accesso alla camera di manovra.

2.2.5.3. Condotta irrigua di valle

Dato lo stato di degrado che interessa la condotta di derivazione a valle delle paratoie, si prevede di intervenire con la rimozione della stessa e con la relativa sostituzione.

Si fa presente che il tratto che interessa la parte finale della condotta e precisamente per una lunghezza di 100,00 m, è stato di recente già completamente sostituito con una nuova tubazione dello stesso diametro.

2.2.6. Fasi di lavoro

Tutti i lavori precedentemente descritti saranno realizzati secondo una precisa sequenza, rispettando le priorità dei lavori richiesti ed assicurare l'allontanamento degli afflussi naturali al serbatoio e la realizzazione del cantiere di lavoro in sicurezza.

Inoltre gli interventi più soggetti al pericolo d'allagamento, da parte degli afflussi al serbatoio, saranno concentrati nel periodo estivo di massima magra. In relazione a quanto sopra le fasi di lavoro possono essere elencate cronologicamente, come segue.

1. Vuotamento completo del serbatoio, utilizzando l'attrezzatura disponibile costituita dalla batteria di sifoni ad innescamento forzato e/o la derivazione irrigua.
2. Approntamento delle piste d'accesso e della piattaforma per area cantiere fino alle quote prefissate per la sicurezza.
3. Realizzazione di tutte le opere relative alla deviazione provvisoria dei deflussi.
4. Realizzazione dell'opera provvisoria superiore per sostenere lo scavo a pozzo, nella parte interessata dai fanghi di sedimentazione.
5. Esecuzione dello scavo a pozzo di diametro 38,00 m, dalla quota 85,00 m s.l.m., fino a quota 76,00 m s.l.m..
6. Realizzazione della seconda opera provvisoria per sostegno dello scavo a pozzo fino all'opera d'imbocco scarico di fondo.
7. Esecuzione dello scavo a pozzo da quota 76,00 m s.l.m. fino a quota 66,00 m s.l.m., ovvero fino al raggiungimento della soglia dell'opera d'imbocco dello scarico di fondo.
8. Ispezione, se possibile, al tratto di galleria dal punto di scavo al blocco paratoie, con accertamento del materiale ivi depositato.
9. Demolizione di tutte le attrezzature metalliche situate nel pozzo: scale metalliche e aeroforo.

Contemporaneamente alle fasi che vanno dalla 4 alla 8, da realizzare nel prefissato periodo di massima magra, saranno attuate le seguenti fasi:

10. Demolizione del blocco paratoie, con asportazione delle paratoie esistenti e di tutte le componenti accessorie, con sollevamento attraverso il pozzo d'accesso, già predisposto allo scopo.
11. Pulizia della galleria a monte paratoie.
12. Realizzazione del setto removibile nella galleria a monte, così da evitare qualsiasi afflusso dal serbatoio.

In tempo successivo, anche dopo il prefissato periodo di massima magra, saranno portate a termine le seguenti ulteriori fasi.

13. Sistemazione e bloccaggio nuove paratoie;
14. Ripristino della condotta di derivazione irrigua a valle paratoie.
15. Realizzazione del risanamento del pozzo paratoie, con sistemazione della parete esistente del rivestimento.
16. Sistemazione nel pozzo delle nuove scale metalliche e tubo aeroforo.
17. Sistemazione delle apparecchiature di manovra e comando, centralina oleodinamica e quadro comandi.
18. Rifacimento dell'impianto elettrico sussidiario e dell'impianto d'illuminazione.

2.3. STIMA SOMMARIA DEI COSTI

Si è proceduto ad una valutazione sommaria dei costi realizzativi, così come di seguito riportato:

FINALITÀ INTERVENTO	TIPOLOGIA	COSTO (€)
RIEFFICIENTAMENTO DELLO SCARICO DI SUPERFICIE	RISAGOMATURA	200 000,00
	RIPRISTINO COPRIFERRO E GIUNTI DI TENUTA	100 000,00
	SOPRALZO DELLE PARETI LATERALI DEL CANALE FUGATORE	150 000,00
RIEFFICIENTAMENTO DEGLI SCARICHI PROFONDI	CARATTERIZZAZIONE SEDIMENTI E ACQUE	20 000,00
	RIMOZIONE DEI SEDIMENTI	3 700 000,00
	DEVIAZIONE PROVVISORIA	60 000,00
	ORGANI D'INTERCETTAZIONE	1 100 000,00
	GALLERIA A MONTE DELLA CAMERA PARATOIE	90 000,00
	POZZO PARATOIE	120 000,00
	CONDOTTA IRRIGUA DI VALLE	100 000,00
		5 640 000,00

Di seguito si riporta il quadro economico dell'intervento stimato:

QUADRO ECONOMICO

A) Importo dei lavori

A.1 - Importo dei lavori soggetto a ribasso	€	5.620.000,00
A.2 - Oneri per la sicurezza non soggetti al ribasso	€	180.000,00
Sommano (A)	€	5.800.000,00

B) Somme a disposizione della Stazione Appaltante

B.1 – Spese tecniche ex art. 113 D. Lgs. 50/2016 (2% di A)	€	116.000,00
B.2 – Spese per attività di consulenza e supporto	€	100.000,00
B.3 - Spese tecniche di collaudo tecnico amministrativo ed altri eventuali collaudi specialistici	€	65.000,00
B.4 – Imprevisti	€	302.704,92
B.5 – Contribuzione ex art. 1, c.67, L. 266/2005	€	800,00
B.6 – Spese per pubblicità e, ove previsti, per opere artistiche	€	10.000,00
B.7 – Spese per caratterizzazione sedimenti e acque	€	20.000,00
B.8 - I.V.A. (22% di A+B.2+B.3+B.4+B.6+B.7)	€	1.385.495,00
Sommano (B)	€	2.000.000,00
Totale (IVA compresa)	€	7.800.000,00

Palermo, lì 31/03/2017

Ing. Fabio La Puzza

Ing. Salvatore Sorbello

Ing. Rosa Valente

Visto:

Il Dirigente del Servizio 4
 Ing. Francesco Greco

ALLEGATI

REGIONE

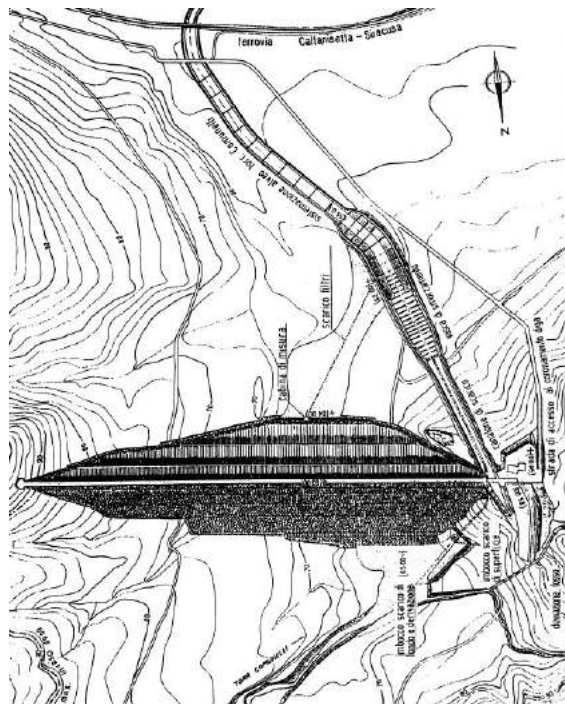


SICILIANA

Agenzia Regionale per i Rifiuti e le Acque
Settore Infrastrutture per le Acque
Area di Direzione

DIGA COMUNELLI

Studio della capacità di laminazione e modulazione dell'onda di piena millenaria con uno scarico di fondo modificato e uno sfioratore ribassato e a larga soglia



Il Redattore

(Ing. S. Augi)

Il Dirigente

(Ing. C. Gambino)

Visto:

Il Direttore

(Ing. F. Dalle Nogare)

Palermo, Marzo 2009

S.A. : Relazione Laminazione e modulazione SIA

Redazione : Ing. Stefania Augi Data creazione : Agosto 2008

Rev: 1 del marzo 2009

Premessa

Il serbatoio Comunelli nel Comune di Butera serve un comprensorio irriguo nella piana di Gela di 2.800 ettari.

Il serbatoio ha quota massima di regolazione di 89,00 m s.l.m. ed una quota di massimo invaso di 91,40 m s.l.m.; mentre il coronamento dell'opera di sbarramento è posto alla quota di 93 m s.l.m..

L'invaso presenta un consistente fenomeno di interrimento con un livello del fango oggi alla quota di circa 84,30 m s.l.m., che ha determinato l'ostruzione dello scarico di fondo già da lungo tempo .

Lo scarico di superficie è di tipo Creager con uno sviluppo di circa 100 m che consente di smaltire, secondo i dati di progetto, una portata di 700 m³/s.

Nel 1995 allorché si ostruì lo scarico di fondo il Consorzio di Bonifica 5 Gela, gestore dell'invaso, su richiesta del SND, oggi Direzione Generale per le Dighe, ha condotto uno studio sulla capacità di laminazione del serbatoio , in cui la portata di massima piena con Tr = 1000 anni risultò essere 1030,5 m³/s.

Da tale studio, redatto dal S.I.A. di Milano, è emerso che, nel caso di sola laminazione, per tempo di ritorno 1000 anni, il sopralzo è di 2.86 m e di 2.63 m nel caso di funzionamento contemporaneo dello scarico di fondo e dello sfioratore di superficie.

Nel 1996 il RID ha imposto al C.d.B 5 Gela l'esercizio del serbatoio alla quota 84,00 m s.l.m. coincidente con la quota di interrimento dell'invaso.

Il Consorzio per ottemperare alle disposizioni impartite dal RID ha installato temporaneamente una batteria di tre sifoni , che sono in grado di rilasciare complessivamente fino a 6 m³/s, nelle more del ripristino dell'efficienza dello scarico di fondo .

Nel febbraio del 2007 l'Agenzia Regionale per i Rifiuti e le Acque ha aggiornato l'anzidetto Studio Idrologico del 1995, condensando i risultati nella relazione denominata "*Considerazioni sulla sicurezza idraulica del serbatoio per la riunione del 20.02.2007 con il R.I.D. ed il CdB5 Gela*". In quest'ultimo documento la portata di picco dell'idrogramma di piena con tempo di ritorno 1000 anni risultò essere 969,62 m³/s.

Il Consorzio ha rivalutato la sicurezza idraulica dello sbarramento di ritenuta con lo studio redatto dal SIA e datato Ottobre 2007, che è stato trasmesso per acquisire il parere di competenza al II Settore dell'ARRA prima di trasmettere alla Direzione Generale per le dighe.

Nel predetto studio si conferma che la massima portata con $Tr = 1000$ anni è $1030,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Il seguente studio si propone di individuare e analizzare dal punto di vista idraulico quali modifiche alle opere di scarico esistenti potrebbero consentire di aumentare i volumi immagazzinati nel serbatoio garantendo il non superamento della quota di massimo invaso.

In particolare si sono analizzati gli effetti della laminazione della piena millenaria nell'ipotesi in cui l'attuale sfioratore di superficie con profilo Creager – Scimemi venga modificato con uno stramazzo a larga soglia avente sia quota che lunghezza variabile.

Inoltre si è studiato l'effetto combinato della laminazione e modulazione della piena nel caso in cui fosse ripristinato lo scarico di fondo secondo quanto previsto nel progetto SIA.

La presente relazione viene divisa in tre parti:

Parte I. Calcolo della portata uscente dallo scarico di fondo modificato e studio dell'effetto combinato laminazione e modulazione .

Parte II. Verifica della capacità di laminazione di uno sfioratore di superficie con stramazzo a larga soglia al variare della quota di sfioro.

Parte III. Studio della laminazione della piena millenaria di uno sfioratore Creager - Scimemi tagliato parzialmente con un piano orizzontale.

In tutti i casi si utilizzerà l'idrogramma di piena con tempo di ritorno $Tr = 1000$ anni con una portata di picco, pari a $1030,5 \text{ m}^3/\text{s}$, che si raggiunge dopo circa 4 ore (vedi Studio Verifiche Idrauliche condotto dal SIA).

Alla luce dei risultati ottenuti nelle ultime pagine vengono fatte alcune considerazioni conclusive sulle elaborazioni effettuate e sui dati raccolti .

Parte I

Calcolo della portata uscente dallo scarico di fondo e studio dell'effetto combinato laminazione e modulazione

Nel seguito si analizza la variazione del livello del serbatoio nell'ipotesi di ingresso dell'idrogramma di piena con $Tr = 1000$ anni, ripristino dell'efficienza dello scarico di fondo e con la soglia dello scarico di superficie modificata.

Lo scarico di fondo modificato così come previsto nel progetto del SIA (fig. 1.a) è suddiviso in due tratte: la prima curvilinea in pressione e la seconda sub-orizzontale a valle delle paratoie di regolazione a pelo libero.

Si è determinata anzitutto l'espressione della portata uscente dallo scarico di fondo al variare del livello del serbatoio e successivamente è ricavato l'idrogramma uscente per effetto della laminazione e della modulazione della piena millenaria.

Si mettono a confronto due casi :

1° caso) quota lago iniziale pari a 88,00 m s.l.m. e stramazzo a larga soglia e con scarico di fondo funzionante.

2° caso) quota lago iniziale pari a 88,00 m s.l.m. e stramazzo a larga soglia (taglio dell'attuale profilo Creager – Scimemi con un piano orizzontale passante per la quota 88.0 m s.l.m.) senza scarico di fondo.

Nel 2° caso si avvia l'apertura delle paratoie dello scarico di fondo non appena iniziano a defluire le portate nel serbatoio (procedura auto livellante).

Studio dell'effetto combinato laminazione e modulazione

La portata uscente dalla luce di fondo, Q_F , dipende dalla superficie libera del serbatoio e decresce con essa, essendo proporzionale alla radice quadrata del carico, H (vedi appendice).

Poiché durante la piena il serbatoio va riempiendosi e svuotandosi e quindi la superficie libera cambia quota nel tempo, allora varia con t anche la portata uscente, Q_F .

La portata scaricata dipende inoltre dal grado di apertura delle paratoie, che è funzione della velocità di sollevamento di tali organi.

Nel caso in questione essendo già da diversi anni lo scarico ostruito e le paratoie in disuso si sono utilizzati per il calcolo della velocità di apertura delle paratoie i valori registrati nelle paratoie della diga Cimia, da cui risulta che la velocità di apertura è pari a 0,18 cm/sec, mentre quella di chiusura è di 0,21 cm/sec. Si ricava una velocità di apertura media di 0,20 cm/sec.

Fissato l'intervallo temporale di 0,24 ore (14,4 minuti) le paratoie risultano sollevate di 1.72 metri (grado di apertura è in percentuale del 78 %); dopo circa 30 minuti le paratoie saranno completamente aperte.

In breve la portata, Q_F , uscente dalla luce di fondo e conseguentemente l'idrogramma modulato dipendono da:

- a. Carico a monte dell'imbocco,
- b. Grado di apertura delle paratoie.

Quando i volumi immagazzinati e le portate entranti sono così elevati che la superficie libera del serbatoio sale al di sopra della soglia di sfioro entra in funzione anche lo scaricatore di superficie.

In questo caso escono contemporaneamente dal serbatoio due portate Q_F e Q_S rispettivamente dalla luce di fondo e dallo sfioratore di superficie, entrambe variabili col tempo in funzione del livello dello specchio liquido.

Scelto un intervallo temporale sufficientemente piccolo Δt ed applicando il bilancio volumetrico in forma discretizzata si ottiene la seguente equazione:

$$(1) \quad \Delta V = (Q_{\text{entr}} - Q_{\text{usc}}) \times \Delta t$$

In cui:

ΔV è il volume immagazzinato nell'intervallo Δt ,

Q_{entr} è la portata naturale di piena entrante nel serbatoio che varia al trascorrere del tempo,

Q_{usc} è la somma delle portate uscenti dalla luce di fondo e dallo sfioratore di superficie.

Se nell'istante t la portata entrante vale Q_{entr} e quella uscente è Q_{usc} in un breve intervallo di tempo Δt a partire da quell'istante entra nel serbatoio il volume $Q_{\text{entr}} \Delta t$ ed esce dalla luce di fondo il volume $Q_F \Delta t$, allora si ha che:

- se $Q_{\text{entr}} < Q_F$ il serbatoio si svuoterà del volume ΔV e si ridurrà il livello del serbatoio,
- se $Q_{\text{entr}} > Q_F$ si immagazzinerà nel serbatoio il volume ΔV ed aumenterà il livello d'invaso.

Quando il livello del serbatoio, $H_{\text{lago},t}$, supera la quota di sfioro, H_{reg} , e quindi:

$$h_s = H_{\text{lago,t}} - H_{\text{reg}} > 0$$

entra in funzione anche lo sfioratore di superficie; altrimenti funzionerà soltanto lo scaricatore di fondo.

L'espressione generale della portata uscente dallo scarico di superficie è la seguente :

$$Q_s = \mu \times L \times (2g)^{0.5} h_s^{3/2}$$

Condizioni al contorno

Partendo dalla condizione iniziale che all'arrivo dell'onda di piena millenaria il livello del serbatoio iniziale si trovi alla quota massima di regolazione, si fissano le seguenti condizioni al contorno:

- a. $H_{\text{lago,t}} > H_{\text{reg}}$ allora $Q_{\text{usc}} = Q_s + Q_f$
- b. $H_{\text{lago,t}} \leq H_{\text{reg}}$ allora $Q_{\text{usc}} = Q_f$

Scelto un intervallo temporale sufficientemente piccolo, Δt , pari a 0.048 ore ed applicando la (1) si calcola l'incremento/ decremento di volume, ΔV , quindi all'istante $t + \Delta t$, il volume immagazzinato si somma o detrae al volume esistente nell'invaso all'istante t .

Ripetendo il procedimento n volte si sono tracciate le curve rappresentanti l'andamento nel tempo delle portate uscenti dallo scarico di superficie e dalla luce di fondo.

Elaborazioni analitiche

Lo scarico di fondo in esame (fig. 1.a) presenta un primo tratto ad andamento curvilineo con una griglia protettiva all'imbocco ed un tratto sub orizzontale successivo che diventa a pelo libero a valle delle paratoie di chiusura.

La perdita di carico complessiva nel tratto AE della condotta, Δh_{AE} , dall'imbocco (sez.A) alla sezione di uscita (sez. B), è stata valutata sommando sia le perdite di carico concentrate, che si verificano nelle singolarità, sia quelle distribuite lungo la galleria (vedi appendice).

Ipotizzando che il coefficiente di scabrezza si mantenga sempre costante e pari a $K_s = 75 \text{ m}^{1/3}/\text{sec}$ ed essendo note le seguenti quote:

$$H_{\text{reg}} = 89,00 \text{ m s.l.m. (quota di massima regolazione);}$$

$H_{\max \text{ invaso}} = 91,40 \text{ m s.l.m. (quota di massimo invaso);}$

$H_{\max \text{ svaso}} = 85,20 \text{ m s.l.m. (quota di massimo svaso dello scarico di fondo modificato);}$

$H_{\text{ fondo}} = 59,85 \text{ m s.l.m. (quota fondo galleria).}$

Si sono ricavati i seguenti parametri:

- La perdita di carico complessiva:

$$\Delta h_{AE} = 0,0022 Q_F^2$$

- Il carico a monte dell'imbocco, H, è:

$$H = H_{\text{lago,t}} - 61,0$$

Inoltre

$$K_1 = 213,16 H$$

$$K_2 = 0,4737$$

Da cui si ricava l'espressione per il calcolo della portata uscente dallo scarico di fondo in funzione della quota del lago:

$$(2) \quad Q_F = K_1 / (1 + K_2)^{0.5}$$

$$Q_F = [213,16 (H_{\text{lago,t}} - 61,0) / (1 + 0,4737)]^{0.5}$$

Si osserva che quando la quota del serbatoio è 88 m s.l.m. la portata uscente è pari a 62,6 m³/sec , tale portata aumenta se la quota del lago passa a 89,00 m s.l.m. raggiungendo il valore di 63,7 m³/sec .

Per il calcolo della portata uscente dallo sfioratore con profilo Creager – Scimemi si è utilizzata la seguente espressione (ricavata dallo studio del SIA) :

$$(3) \quad Q_C = 188,27 \times h_s^{3/2}$$

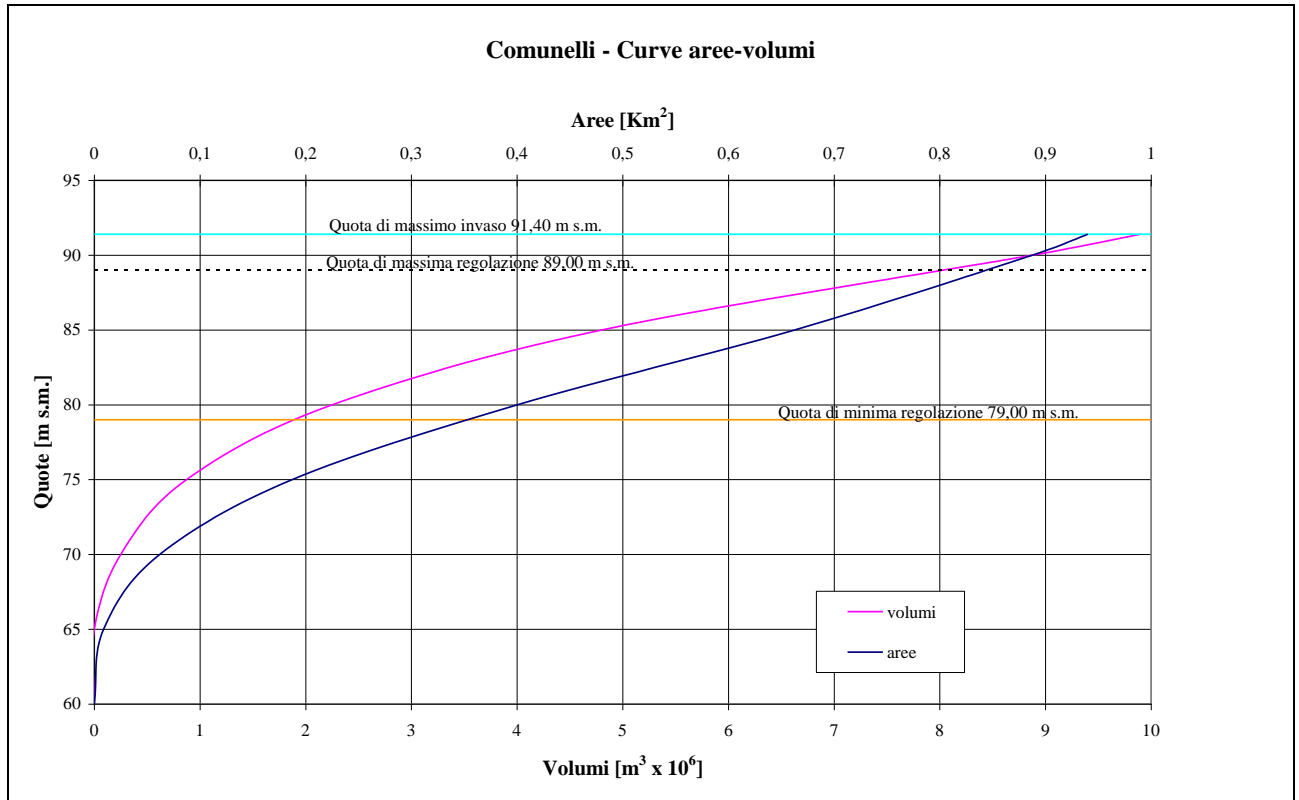
Mentre per il calcolo della portata effluente da un ipotetico stramazzo a larga soglia ottenuto tagliando l'attuale scaricatore con un piano orizzontale posto a quota 88,00 m s.l.m. , si ha che (vedi appendice):

$$(4) \quad Q_L = 161,76 \times h_s^{3/2}$$

in cui si è posto μ pari a 0.385 e L pari a 94,86 m.

Lo studio è stato condotto partendo dall'idrogramma di piena con tempo di ritorno 1000 anni , desunto dalla relazione SIA- Studio Verifiche Idrauliche e dalla legge $H = H(V)$, che lega il volume contenuto nel serbatoio Comunelli alla quota della superficie libera (fig. 2).

Fig. 2 : Curva quote - volumi



Infine applicando la relazione (1) e le leggi di efflusso, per fissato intervallo temporale (0,24 ore), si sono determinati gli idrogrammi delle portate uscenti.

Risultati ottenuti

Si sono messi a confronto due casi (riepilogati nella tab.1):

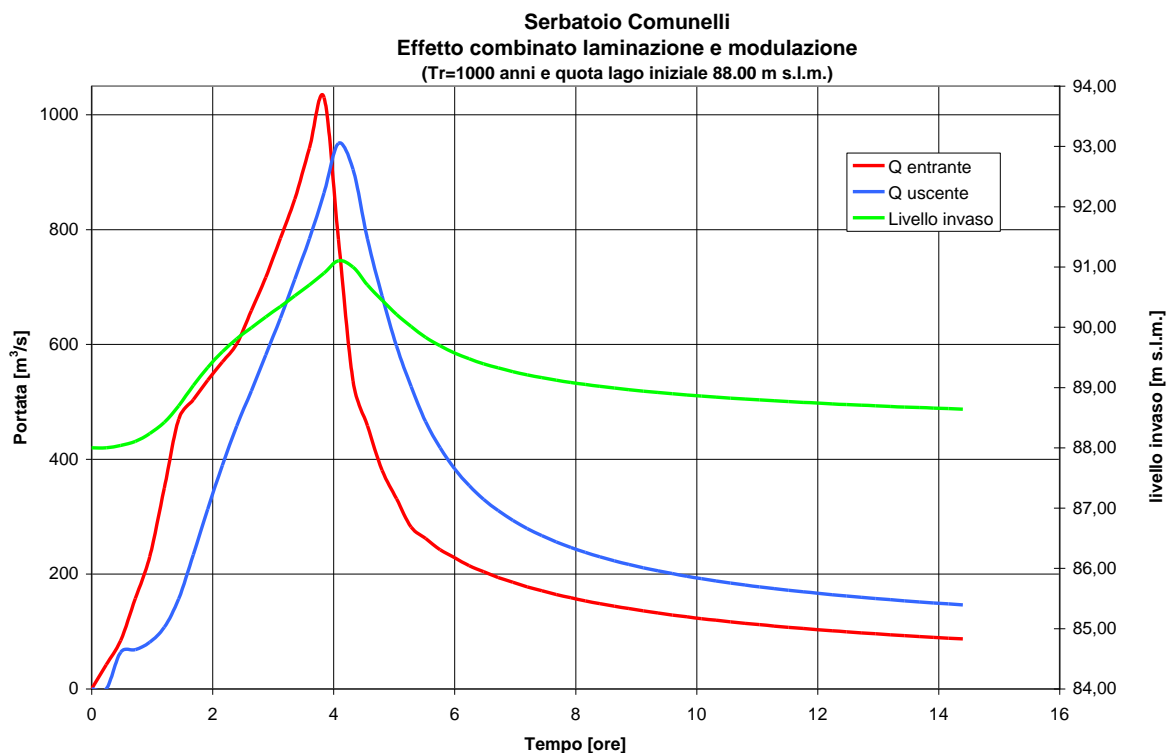
1° caso) Con scarico di fondo funzionante e scarico di superficie con stramazzo a larga soglia con quota coincidente con quella iniziale dell'invaso pari a 88 m s.l.m;

2° caso) Senza scarico di fondo e stramazzo a larga soglia a quota 88 m s.l.m.

1° caso

Osservando il grafico riportato in fig. 3 si nota che la portata massima uscente dallo scarico di fondo è pari a $66.12 \text{ m}^3/\text{s}$ e contemporaneamente la portata massima uscente dallo scarico di superficie è pari a $884 \text{ m}^3/\text{sec}$ che si raggiunge dopo circa 4 ore, in corrispondenza del quale il livello massimo raggiunto è di $91,10 \text{ m s.l.m.}$ e quindi la quota di massimo invaso (91.40 m s.l.m.) non viene mai superata.

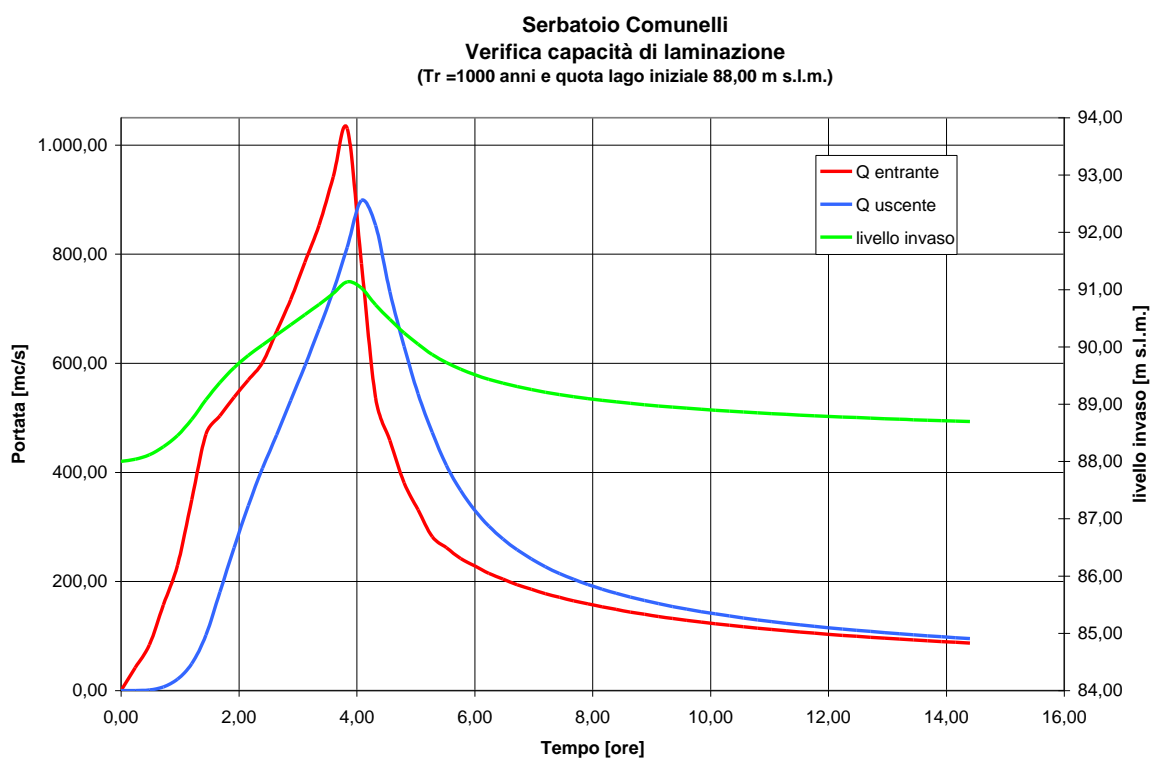
Fig. 3: Funzionamento con scarico di fondo e scarico di superficie



2° caso

In questo caso la portata uscente dallo scarico di superficie è $898 \text{ m}^3/\text{sec}$ e la quota massima raggiunta dallo specchio liquido è pari a 91.14 m s.l.m. e quindi la quota di massimo invaso (91.40 m s.l.m.) non viene mai superata (fig. 4).

Fig. 4 : Funzionamento con scarico di superficie a larga soglia



Tab.1 : Tabella riepilogativa dei casi 1 e 2

	Portata massima entrante	Portata massima uscente	Quota lago iniziale	Quota massimo invaso
	mc/s.	mc/s.	m s.l.m.	m s.l.m.
senza scarico di fondo	1030.5	898	88	91.14
con scarico di fondo	1030.5	884	88	91.10

Parte II

Verifica della capacità di laminazione dello sfioratore di superficie modificato al variare della quota della soglia

Lo scarico di superficie (fig. 1.b) ubicato in sponda destra con imbocco a becco d'anatra e con profilo Creager – Scimemi ha soglia libera alla quota 89,00 m s.l.m..

Quando il livello del serbatoio si trova alla quota di massima regolazione e sopraggiunge la piena millenaria con portata al colmo di 1030 m³/sec lo sfioratore Creager consente di controllare le portate entranti grazie all'effetto di laminazione garantendo una portata uscente di 771 m³/sec e la quota di massimo invaso (91,40 m s.l.m.) viene superata di 46 cm (vedi relazione SIA tav.17).

Nel seguito si vuole analizzare come varia la capacità di laminazione dell'onda millenaria per effetto di un ipotetico sfioratore a larga soglia, ottenuto modificando l'attuale sfioratore di superficie mediante un taglio con un piano orizzontale posto alle seguenti quote: 88,80 m s.l.m., 88,60 m s.l.m., 88,40 m s.l.m., 88,20 m s.l.m..

Sotto l'ipotesi iniziale che all'arrivo dell'onda di piena la quota del lago coincida con la quota del piano orizzontale di taglio si determinano quali sono:

1. le massime altezze che raggiunge il livello del serbatoio,
2. l'entità e la durata dell'impegno del franco,

al variare della quota della soglia di sfioro e senza scarico di fondo.

Analisi del problema

Lo scarico di superficie modificato assume il profilo di stramazzo a larga soglia e l'espressione della portata uscente è pari a :

$$Q_L = \mu \times L \times (2g)^{0.5} h_s^{3/2} = B \times h_s^{3/2}$$

in cui

μ è il coefficiente di efflusso;

L è la lunghezza della soglia sfiorante

h_s è l'altezza del carico sulla soglia (espressa in m) variabile nel tempo in funzione delle variazioni di quota assunte dallo specchio liquido.

Essendo ostruito lo scarico di fondo, i volumi uscenti dipendono soltanto dallo scaricatore di superficie che entra in funzione quando la quota di invaso supera la quota di massima regolazione modificata, in questo caso la portata uscente è data da:

$$Q_{usc} = Q_L$$

Le equazioni che reggono il processo di laminazione a monte dell'invaso sono:

1. l'equazione di continuità

$$(1) dV(t) / dt = Q_{entr}(t) - Q_{usc}(t)$$

2. la legge di efflusso dello sfioratore di superficie

$$Q_L = B \times h_s(t)^{3/2}$$

in cui:

$V(t)$ è il volume immagazzinato nell'istante t ,

$Q_{entr}(t)$ è la portata naturale di piena entrante nel serbatoio all'istante t ,

$Q_{usc}(t)$ è la portata uscente dallo sfioratore di superficie all'istante t .

Per calcolare le portate uscenti e poter tracciare l'idrogramma laminato si applica il procedimento iterativo della soluzione dell'equazione di continuità espressa in forma discretizzata (vedi parte I).

Se in un generico istante t la portata entrante vale Q_{entr} e quella uscente vale Q_{usc} in un breve intervallo di tempo Δt entra nel serbatoio un volume V_{entr} ed esce il volume V_{usc} .

Quando il volume entrante supera quello uscente, il volume ΔV che si immagazzina nel serbatoio nell'intervallo Δt sarà positivo; altrimenti sarà negativo e rappresenta la perdita di volume subita dal serbatoio.

$$\Delta V > 0 \text{ se } Q_{entr} > Q_{usc}$$

$$\Delta V < 0 \text{ se } Q_{entr} < Q_{usc}$$

A questo volume immagazzinato corrisponde un nuovo carico sulla soglia e quindi una nuova portata uscente, la portata entrante in un successivo Δt si potrà leggere dall'idrogramma di piena.

Ripetendo il calcolo per successivi intervalli si ricavano i volumi immagazzinati e le portate uscenti che permettono di tracciare la curva della laminazione.

Elaborazioni analitiche

Lo studio è stato condotto partendo dall'idrogramma di piena con tempo di ritorno 1000 anni, (vedi Studio Verifiche Idrauliche - Diga Comunelli elaborato dal SIA) e dalla legge $H = H(V)$, che lega il volume contenuto nel serbatoio Comunelli alla quota della superficie libera.

Dall'idrogramma di piena e per fissati intervalli di tempo, Δt , pari a 0.24 ore si sono determinati i corrispondenti volumi entranti.

I dati di ingresso utilizzati per il calcolo della portata uscente dallo sfioratore di superficie con stramazzo a larga soglia sono i seguenti:

- coefficiente di efflusso, $\mu = 0.385$, (per gli sfioratori a larga soglia),
- lunghezza della soglia, $L \text{ (m)} = 94,86 \text{ m}$.

Da cui si ottiene l'espressione (4):

$$Q_L = 161,76 \times h_s^{3/2}$$

Mediante ripetute applicazioni dell'equazione di continuità, e della legge di efflusso per fissato Δt si determinata la successione temporale dei volumi uscenti e di quelli immagazzinati, cui corrispondono vari livelli di invaso.

Si è ipotizzato che i volumi iniziali ($t = 0$) immagazzinati nel serbatoio, V_{iniz} , siano quelli al netto del fango, riportati nella tabella 2, e che la corrispondente quota d'invaso iniziale sia coincidente con la nuova soglia libera.

Tab. 2: Condizioni iniziali applicate

Quota soglia sfioratore modificato [m s.l.m.]	Quota lago iniziale [m s.l.m.]	Volume lago iniziale [m ³]
88,80 (stramazzo a larga soglia)	88,80	5.115.000
88,60 (stramazzo a larga soglia)	88,60	4.930.000
88,40 (stramazzo a larga soglia)	88,40	4.745.000
88,20 (stramazzo a larga soglia)	88,20	4.560.000
88,00 (stramazzo a larga soglia)	88,00	4.375.000

Analisi dei risultati

I risultati dei calcoli sono illustrati nella tabella sottostante in cui sono indicati per ogni quota della soglia dello sfioratore sia i livelli massimi di invaso raggiunti dallo specchio liquido durante la laminazione della piena millenaria sia l'entità e la durata dell'impegno del franco

Tab. 3 :Riepilogo risultati

Quota sfioratore	Portata massima entrante	Portata massima uscente	Quota massima di invaso	Durata dell'impegno del franco
m s.l.m.	m ³ /sec	m ³ /sec	m s.l.m.	min.
89,00	1030.5	890,23	91,82	90
88,80	1030.5	898.63	91,9	58
88,60	1030.5	898.63	91,7	29
88,40	1030.5	898.63	91,5	14
88,20	1030.5	898.63	91,3	0

Si può notare che all'aumentare della profondità del taglio e quindi al decrescere della quota della soglia di sfioro si riduce sia la quota di massimo invaso sia l'entità dell'impegno del franco e conseguentemente anche la sua durata.

Infatti se lo sfioratore attuale venisse tagliato con un piano orizzontale profondo 80 cm e quindi la soglia di sfioro fosse alla quota 88, 20 m s.l.m. non si supererebbe mai la quota di massimo invaso (91.40 m s.l.m.).

Parte III

Studio della laminazione della piena millenaria di uno sfioratore Creager - Scimemi tagliato parzialmente con un piano orizzontale

Nello studio di seguito riportato si analizza la capacità di laminazione dell'onda di piena millenaria, ricavata dal SIA, di un ipotetico scaricatore di superficie modificato.

La modifica consiste nel realizzare uno stramazzone a larga soglia profondo un metro e di lunghezza variabile lasciando per il resto il profilo Creager – Scimemi.

In particolare lo sfioratore di superficie così ottenuto è costituito da due scaricatori:

1. il primo posto alla quota 88,00 m s.l.m. con profilo a larga soglia e lunghezza L_T ,
2. il secondo alla quota 89,00 m s.l.m. con profilo Creager e lunghezza $L_{tot} - L_T$.

Si analizza sia l'effetto combinato della laminazione e della modulazione nel caso in cui lo scarico di fondo sia funzionante e lo specchio liquido si trovi inizialmente alla quota 88 m s.l.m., sia il caso in cui lo scarico di fondo non sia funzionante (come è effettivamente).

Analisi del problema

Per calcolare la portata uscente da uno sfioratore Creager- Scimemi tagliato parzialmente con un piano orizzontale lungo L_t e profondo un metro (quota 88 m s.l.m.) si sono ricavate alcune espressioni funzioni della lunghezza del taglio e del carico sulla soglia (vedi appendice).

Per il calcolo della portata uscente dallo scarico di fondo si è utilizzata l'espressione (2) (vedi appendice).

Nell'ipotesi in cui siano funzionanti lo scarico di fondo e lo sfioratore di superficie e che l'onda di piena in arrivo sia quella con tempo di ritorno 1000 anni, la portata uscente complessiva sarà data dalla somma di tre componenti:

- Q_F : portata uscente dallo scarico di fondo,
- Q_L : portata uscente dallo scarico di superficie a larga soglia,
- Q_C : portata uscente dallo scarico di superficie con profilo Creager – Scimemi.

Condizioni al contorno

Le portate scaricate dipendono oltre che dal tempo anche dalla quota assunta dallo specchio liquido, $H_{\text{lago},t}$; in particolare:

$$1^{\circ} \text{ caso) } H_{\text{lago},t} \leq 88,00 \text{ m s.l.m.} \rightarrow Q_{\text{usc}} = 0$$

Quando la quota d'invaso è inferiore a 88 m s.l.m. la portata uscente è nulla essendo le paratoie dell'opera di scarico chiuse e non avendo il livello del lago superato la soglia di sfioro.

$$2^{\circ} \text{ caso) } 88 < H_{\text{lago},t} \leq 89 \text{ m s.l.m.} \rightarrow Q_{\text{usc}} = Q_F + Q_L$$

Quando la quota del lago supera gli 88,00 m s.l.m. allora si aprono le paratoie, lo scarico di fondo entra in funzione e viene impegnato anche lo stramazzo a larga soglia.

$$3^{\circ} \text{ caso) } H_{\text{lago},t} > 89,00 \text{ m s.l.m.} \rightarrow Q_{\text{usc}} = Q_F + Q_L + Q_C$$

Quando la quota del lago supera gli 89,00 m s.l.m. allora entra in funzione oltre allo scarico di fondo anche lo stramazzo a larga soglia e lo sfioratore con profilo Creager.

Risultati ottenuti

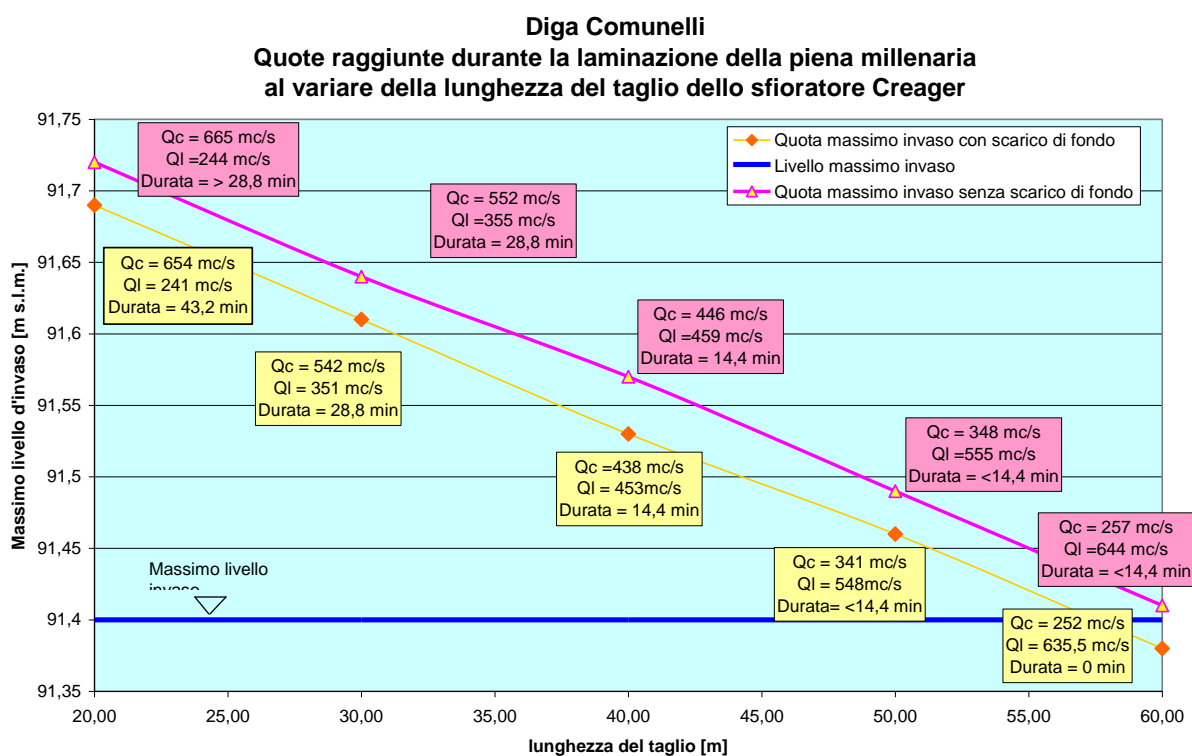
Per valutare l'effetto della modifica parziale dello scaricatore di superficie con uno stramazzo a larga soglia sulla laminazione del serbatoio si è assunto in entrata l'idrogramma di piena con tempo di ritorno 1000 anni (portata massima entrante $1030.5 \text{ m}^3/\text{s}$) sotto l'ipotesi che la quota del lago sia 88,00 m s.l.m.

Si determina quale è la massima altezza raggiunta dal livello d'invaso per stabilire se il franco di progetto viene impegnato e per quanto tempo.

Dall'idrogramma di piena è possibile ricavare per un qualunque istante le portate entranti e quindi per fissato intervallo temporale (0.24 ore) i volumi entranti, mentre attraverso le leggi di efflusso delle opere di scarico è possibile calcolare le portate uscenti e i relativi volumi effluenti. Applicando la (1) si ricavano i volumi immagazzinati e i corrispondenti livelli di invaso, il bilancio volumetrico è stato ripetuto modificando di volta in volta la lunghezza del taglio.

I risultati ottenuti sono mostrati nella figura 8 e riportati nelle tabelle 4.a (con scarico di fondo) e 4.b (senza scarico di fondo).

Fig. 8 : Livelli massimi di invaso variare della lunghezza del taglio



Si osserva che operando un taglio di 20 metri sull'attuale sfioratore (senza scarico di fondo) il franco di progetto viene impegnato per 32 cm e per circa 30 minuti, tale durata si riduce a 14.4 minuti se il taglio è lungo 40 metri. Le portate totali uscenti si mantengono costanti e pari a circa 910 m³/sec, mentre le portate effluenti dallo scaricatore Creager modificato si riducono all'aumentare del taglio.

Tab. 4.a Riepilogo risultati (con scarico di fondo)

L taglio	Qmax C	Qmax L	Quota massimo invaso	Durata dell'impegno del franco	Q max usc	Qmax F
m	m ³ /sec	m ³ /sec	m s.l.m.	min.	m ³ /sec	m ³ /sec
20,00	654	241,5	91,69	28,8	962,26	66,76
30,00	542,2	351,1	91,61	28,8	959,97	66,67
40,00	438	453,2	91,53	14,4	957,79	66,59
50,00	341,3	548	91,46	<14,4	955,81	66,51
60,00	252	635,5	91,38	0	953,92	66,42

Tab. 4.b : Riepilogo risultati (senza scarico di fondo)

L taglio	Qmax C	Qmax L	Quota massimo invaso	Durata dell'impegno del franco	Q max usc	Qmax entr
m	m ³ /sec	m ³ /sec	m s.l.m.	min.	m ³ /sec	m ³ /sec
20,00	665,70	244,70	91,72	28,80	910,40	1030,5
30,00	552,30	355,80	91,64	28,80	908,10	1030,5
40,00	446,50	459,50	91,57	14,40	906,00	1030,5
50,00	348,20	555,90	91,49	<14,4	904,10	1030,5
60,00	257,40	644,90	91,41	<14,4	902,30	1030,5

Considerazioni conclusive

Le modifiche apportate allo sfioratore di superficie possono consentire di aumentare i volumi immagazzinati nel serbatoio garantendo il non superamento della quota di massimo invaso di progetto, contenendo i costi e la durata degli interventi.

In particolare si è osservato (**parte I**) che qualora venisse tagliato lo scarico di superficie con un piano orizzontale posto alla quota 88 m s.l.m. e venisse ripristinato lo scarico di fondo secondo le modifiche previste nel progetto SIA in presenza di un evento di piena con tempo di ritorno 1000 anni la portata massima uscente dallo scarico di fondo risulterebbe pari a $66,12 \text{ m}^3/\text{s}$ e si raggiungerebbe dopo circa 4 ore, in corrispondenza del quale la quota massima dell'invaso raggiunge i 91,10 m s.l.m. .

Inoltre contemporaneamente la portata massima uscente dallo scarico di superficie sarebbe pari a $884 \text{ m}^3/\text{sec}$ cioè $184 \text{ m}^3/\text{sec}$ maggiore di quella di progetto ($Q_C = 700 \text{ m}^3/\text{s}$).

Nel caso reale invece in cui la luce di fondo è ostruita la portata uscente dallo scarico di superficie è $889,7 \text{ m}^3/\text{sec}$ e la quota di massimo invaso raggiunta è pari a 91,14 m s.l.m. e quindi la quota di massimo invaso imposta di 91,40 m s.l.m. non viene superata .

Sulla base delle elaborazioni effettuate (**parte II**) si è osservato che la quota di massimo invaso (91,40 m s.l.m.) non verrebbe mai superata se lo sfioratore attuale venisse tagliato con un piano orizzontale profondo 80 cm (quindi la soglia di sfioro fosse alla quota 88, 20 m s.l.m.) in questo caso la portata massima uscente ($898 \text{ m}^3/\text{s}$) rilasciata solo dallo scarico di superficie è circa $198 \text{ m}^3/\text{s}$ maggiore di quella prevista in progetto complessivamente rilasciata dallo scarico di fondo e da quello di superficie ($Q_F = 60 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_C = 700 \text{ m}^3/\text{s}$).

Inoltre se lo sfioratore attuale venisse tagliato con un piano orizzontale profondo 60 cm e quindi la soglia di sfioro fosse alla quota 88, 40 m s.l.m. la portata massima uscente rilasciata dallo scarico di superficie sarebbe sempre la stessa ma la quota di massimo invaso (91,40 m s.l.m.) verrebbe superata di 10 cm per circa 15 minuti.

Lo studio della capacità di laminazione di un ipotetico sfioratore di superficie realizzato inserendo nello scarico esistente con profilo Creager – Scimemi uno stramazzo a larga soglia di profondità un metro e lunghezza variabile (**parte III**) ha dimostrato che operando un taglio di 60

metri sull'attuale sfioratore il franco di progetto viene impegnato per 1 cm e per meno di 15 minuti (senza scarico di fondo), tale durata si annulla se si mette in funzione lo scarico di fondo.

Le portate uscenti complessive (scarico di fondo e sfioratore di superficie) si mantengono costanti e pari a circa $910 \text{ m}^3/\text{sec}$, mentre le portate effluenti dallo scaricatore Creager modificato si riducono all'aumentare del taglio.

Il caso che praticamente evita il superamento della quota di massimo invaso di progetto anche in assenza di scarico di fondo è quello di un taglio del profilo Creager di 60 m e per una profondità di 1 m.

Và anche evidenziato che il coronamento lato monte è munito di un robusto muro paraonde di altezza media 1,10 m.

La lunghezza del fetch alla quota di massimo invaso (91,40 m s.l.m.) è di circa 5,4 km. Assumendo la velocità massima del vento di 80 km/h si ottiene un'altezza di semionda pari a circa 0,95 m.

Il franco netto diventa:

$$f_{\text{netto}} = 93 - 91.41 - 0.95 = 0.64 \text{ m}$$

Aggiungendo il muro para onde si ottiene un franco di emergenza di 1,64 m, che nell'arco di 15 minuti inizia ad aumentare per diminuzione del livello d'invaso.

Nel caso di taglio totale e trasformazione dello scarico di superficie il franco netto diventa:

$$f_{\text{netto}} = 93 - 91.14 - 0.95 = \mathbf{0.91 \text{ m}}$$

che è prossimo a quello di 1 metro previsto dal D.M. 24/03/1982, senza muro paraonde.

APPENDICE

1. Calcolo della portata uscente dallo scarico di fondo
2. Calcolo della portata uscente dallo scarico di superficie con profilo Creager – Scimemi interrotto da uno stramazzo a larga soglia
3. Tabelle riepilogative della laminazione della piena con Tr pari a 500 anni.

1. Calcolo della portata uscente dallo scarico di fondo

Per calcolare la portata uscente dallo scarico di fondo si è utilizzato il teorema di Bernoulli applicato tra la sezione di imbocco (sez. A) e la sezione delle paratoie (sez. E) (vedi fig. 1), da cui si ottiene che l'espressione generale per il calcolo della portata uscente dallo scarico di fondo, Q_F , è data dalla seguente formula :

$$Q_F = \mu \times A_E (2 g \times (H - \Delta h_{AE}))^{0.5}$$

in cui :

μ è il coefficiente di efflusso posto pari a uno, essendo nulla la contrazione della vena effluente;

A_E è l'area della sezione di uscita (sez. E);

g è l'accelerazione di gravità ($9,81 \text{ m/sec}^2$);

H è il carico a monte dell'imbocco rispetto al baricentro della sezione di uscita (sez. E);

Δh_{AE} è la somma delle perdite di carico nei tratti di condotta in pressione interessati da singolarità.

Per determinare la perdita di carico complessiva nel tratto AE della condotta (dall'imbocco alla sezione di uscita) devono essere valutate sia le perdite di carico concentrate, che si verificano nelle singolarità, sia quelle distribuite lungo la galleria, ipotizzando che il coefficiente di scabrezza, K_s , si mantenga sempre costante.

1. Perdita di carico concentrata all'imbocco della griglia

$$\Delta h_1 = 0.5 V^2 / 2 g$$

$$V = Q_F / A$$

in cui A è l'area della sezione d'imbocco.

2. Perdita di carico distribuita per restringimento ad imbuto

$$\Delta h_2 = L Q_F^2 / \chi^2 R A^2$$
$$\text{con } \chi^2 = K_s R^{1/6}$$

in cui L è la lunghezza del tratto e R è il raggio idraulico medio.

3. Perdita di carico concentrata nel tratto in curva

$$\Delta h_3 = 0.16 V^2 / 2 g$$

4. Perdita di carico distribuita nel tratto in galleria

$$\Delta h_4 = J \times L = \beta L Q_F^2 / D^5$$
$$\beta = 10,33 / K_s^2 D^{1/3}$$

in cui D è il diametro della sezione .

5. Perdita di carico distribuita per restringimento (variazione di sezione da circolare a rettangolare)

$$\Delta h_5 = J \times L = \beta L Q_F^2 / D^5$$

6. Perdita di carico concentrata nella sezione ristretta di uscita (sez. E)

$$\Delta h_6 = 0.2 V^2 / 2 g$$

La perdita di carico complessiva, Δh_{AE} , dalla sezione di imbocco a alla sezione di uscita E coincidente con le paratoie si ricava sommando le perdite di carico distribuite e concentrate.

$$\Delta h_{AE} = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 + \Delta h_4 + \Delta h_5 + \Delta h_6 = K Q_F^2.$$

Per calcolare il carico a monte dell'imbocco H, rispetto al baricentro della sezione stessa di uscita si utilizza la seguente espressione :

$$H = H_{\text{lago,t}} - (H_{\text{fondo}} - 1/2 h_p)$$

in cui

$H_{\text{lago,t}}$ è la quota del serbatoio all'istante t,

H_{fondo} è la quota del fondo della galleria ,

h_p è l'altezza della paratoia.

Sostituendo i valori si ottiene l'espressione della portata uscente dallo scarico di fondo, Q_F :

$$Q_F = A_E (2 g \times (H - K Q_F^2))^{0.5}$$

Elevando al quadrato entrambi i membri si ottiene:

$$Q_F^2 = A_E^2 (2 g \times (H - K Q_F^2))$$

$$Q_F^2 = A_E^2 2 g H - A_E^2 2 g K Q_F^2$$

Posto

$$K_1 = A_E^2 2 g H$$

$$K_2 = A_E^2 2 g K$$

Si ottiene :

$$Q_F^2 = K_1 - K_2 Q_F^2$$

Da cui si ricava l'espressione per il calcolo della portata uscente dallo scarico di fondo :

$$(2) \quad Q_F = K_1 / (1 + K_2)^{0.5}$$

Le lunghezze e le dimensioni dei diversi tratti sono le seguenti:

Tab. 1: Geometria dei diversi tratti di condotta

Tratto	Tipo di sezione	Lunghezza	Geometria	Note
imbocco della griglia (sez. A)	circolare		D = 5.4 m A = 114.86 m ²	
restringimento ad imbuto	circolare	10 m	R = 0.975 m A = 13.71 m ²	
tratto in curva	circolare		R = 0.6 m A = 4.52 m ²	
tratto in galleria	circolare	40.9 m	R = 0.6 m A = 4.52 m ²	
restringimento		6 m	R = 0.52 m A = 3.91 m ²	variazione di sezione da circolare a rettangolare
sezione ristretta di uscita (sez. E)	rettangolare		larghezza = 1.5 m altezza = 2.2 m	

2. Calcolo della portata uscente dallo scarico di superficie con profilo Creager – Scimemi interrotto da uno stramazzo a larga soglia

Per calcolare la portata uscente dallo scarico di superficie costituito da uno sfioro con profilo Creager – Scimemi interrotto da uno stramazzo a larga soglia posto ad un metro di profondità e di lunghezza L_T , si è utilizzata la seguente espressione di progetto:

$$(3) \quad Q_C = 188,27 \times h_s^{3/2}$$

Secondo la quale la portata uscente dallo sfioratore con profilo Creager-Scimemi è proporzionale al carico sulla soglia, h_s .

In generale l'equazione di efflusso da uno scarico di superficie a stramazzo frontale è:

$$Q_C = \mu \times L_e \times (2g)^{0.5} h_s^{3/2}$$

in cui la lunghezza efficace, L_e , è solitamente inferiore alla lunghezza complessiva, L_{tot} , dello sfioratore a causa della possibile presenza lungo la soglia sfiorante delle contrazioni della vena liquida effluente per effetto delle spalle della luce che di eventuali pile.

La sua espressione è :

$$L_e = L_{tot} - N L_p - 2 (K_s + N K_p) h_s$$

In cui

K_s e K_p sono i coefficienti di contrazione dipendenti dalla forma delle spalle (si può assumere per entrambi il valore pari a 0,1 per superfici a spigolo vivo) e delle pile,

L_p è la lunghezza delle pile

N è il numero delle pile (per la diga Comunelli $N=0$).

Il carico massimo sulla soglia, h_s , è dato dalla seguente espressione:

$$h_s = H_{cor} - H_{reg} - f$$

in cui il valore del franco minimo, f , secondo la letteratura, che si assume per una diga in muratura, è di un metro, al quale va aggiunto il valore della semiampiezza dell'onda dovuta al vento e che vale 1,03 (art. b1 del D.M. n. 212/82).

Nel caso in esame essendo la quota di massima regolazione pari a 89,00 m s.l.m. e la quota del coronamento pari a 93,00 m s.l.m. il carico massimo sulla soglia, h_s , è :

$$h_s = 93 - 89 - 2,03 = 1,97 \text{ m}$$

La lunghezza efficace, L_e , dello sfioratore esistente con profilo Creager – Scimemi vale.

$$L_e = 94,86 - 0,1 \times 2 \times 1,97 = 94,47 \text{ m}$$

Utilizzando la (3) si ricava il coefficiente di efflusso, μ , usato per il calcolo della portata effluente dallo sfioratore di superficie della diga Comunelli:

$$\mu = 188,27 / L_e \times (2g)^{0.5} = 0,45$$

Il valore di μ determinato è inferiore a quello standard (0,47 - 0,48) utilizzato per il dimensionamento degli sfioratori con profilo Creager – Scimemi.

La nuova espressione per il calcolo della portata uscente dallo sfioratore con profilo Creager – Scimemi modificato con un taglio profondo un metro e di lunghezza L_T , è:

$$Q_C = 0,45 \times L_e \times (2g)^{0.5} h_s^{3/2}$$

In cui

$$L_e = (94,86 - L_T) - 0,1 \times 2 \times 1,97$$

Nella tabella 2.a. sono riportate le espressioni utilizzate per il calcolo delle portate uscenti dallo sfioratore Creager tagliato e dallo stramazzo a larga soglia modificato, in funzione della lunghezza del taglio.

Tab. 2.a. Espressioni per il calcolo delle portate uscenti dallo sfioratore Creager modificato e dallo stramazzo a larga soglia modificato in funzione della lunghezza del taglio

L_T [m]	L_e [m]	Q_C [m ³ /sec]	Q_L [m ³ /sec]
20	74,47	$148,43 \times h_s^{3/2}$	$34,11 \times h_s^{3/2}$
30	64,47	$128,50 \times h_s^{3/2}$	$51,16 \times h_s^{3/2}$
40	54,47	$108,56 \times h_s^{3/2}$	$68,21 \times h_s^{3/2}$
50	44,47	$88,63 \times h_s^{3/2}$	$85,27 \times h_s^{3/2}$
60	34,47	$68,70 \times h_s^{3/2}$	$102,32 \times h_s^{3/2}$

Lo studio condotto dall'Istituto di Idraulica dell'Università di Palermo¹, avendo notato in seguito a prove su modello, che la sezione ristretta, all'attacco tra canale collettore dell'imbocco e canale fuggatore, crea un rigurgito nel canale collettore così da rigurgitare progressivamente la soglia sfiorante laterale provoca una contrazione della vena effluente, ha evidenziato una riduzione del coefficiente di efflusso e progressiva riduzione della portata.

In seguito il SIA nello Studio Verifiche Idrauliche ha valutato le espressioni per il calcolo delle portate scaricate dallo sfioratore Creager- Scimemi quando i livelli d'invaso superano la quota di progetto (91.40 m s.l.m.).

Di seguito si riportano i coefficienti di efflusso per varie quote del livello d'invaso:

Coefficiente di efflusso	Quota livello d'invaso [m s.l.m.]
188.27	91.40
161.07	91.80
146.16	92.20
123.90	92.89

Inoltre l'espressione utilizzata per il calcolo della portata uscente dallo scarico di fondo è (vedi parte I):

$$Q_F = [K_1 / (1 + K_2)]^{0.5}$$

In cui K_1 e K_2 sono due costanti dipendenti dalle perdite di carico e dalla geometria della condotta pari, per la diga Comunelli, rispettivamente a :

$$K_1 = 213,66$$

$$K_2 = 0,4737.$$

¹ Istituto di Idraulica dell'Università di Palermo- Relatore Dott. R. Quignones – *Prove su modello delle opere di scarico del serbatoio Comunelli* – Febbraio 1963

4. Tabelle riepilogative della laminazione della piena con Tr pari a 500 anni

Avendo la Sicilia un regime pluviale di tipo mediterraneo con precipitazioni massime nel periodo invernale e minime nel periodo estivo si può ritenere che nei mesi primaverili-estivi le portate massime entranti siano quelle con tempo di ritorno 500 anni.

Sotto l'ipotesi che l'idrogramma di piena sia quello cinquecentenario le quote massime raggiunte dall'invaso sono le seguenti.

Tab . 3: Quote raggiunte durante la laminazione della piena con $Tr = 500$ anni al variare della lunghezza del taglio e con scarico di fondo funzionante

L taglio	Qmax L	Qmax C	Quota massimo invaso	Durata dell'impegno del franco	Q max usc	Qmax F
m	m ³ /sec	m ³ /sec	m s.l.m.	min.	m ³ /sec	m ³ /sec
20,00	173	406	90,96	0	644,96	65,96
30,00	228	287	90,87	0	580,68	65,68
40,00	317	260	90,76	0	642,77	65,77
50,00	379	197	90,71	0	641,5	65,5
60,00	434	142	90,62	0	641,41	65,41

Tab . 4: Quote raggiunte durante la laminazione della piena con $Tr = 500$ anni al variare della lunghezza del taglio e con scarico di fondo non funzionante

L taglio	Qmax C	Qmax L	Quota massimo invaso	Durata dell'impegno del franco	Q max usc	Qmax entr
m	m ³ /sec	m ³ /sec	m s.l.m.	min.	m ³ /sec	m ³ /sec
20,00	418,00	176,00	91,00	0,00	594,00	705,50
30,00	340,00	254,00	90,91	0,00	594,00	705,50
40,00	268,00	324,00	90,83	0,00	592,00	705,50
50,00	204,00	388,00	90,75	0,00	592,00	705,50
60,00	147,00	444,00	90,66	0,00	591,00	705,50

Nota:

- Qmax C: portata massima uscente dallo sfioratore Creager modificato
- Qmax L: portata massima uscente dallo sfioratore a larga soglia
- Qmax F: portata massima uscente dallo scarico di fondo
- Q max usc: portata massima uscente complessiva

REPUBBLICA ITALIANA



REGIONE SICILIANA

ASSESSORATO REGIONALE DELL'ENERGIA E DEI SERVIZI DI PUBBLICA UTILITA'
DIPARTIMENTO REGIONALE DELL'ACQUA E DEI RIFIUTI
SERVIZIO 4 - GESTIONE INFRASTRUTTURE PER LE ACQUE

DIGA COMUNELLI
TERRITORIO DEL COMUNE DI BUTERA (CL)
N. ARCH. S.N.D. 903

TITOLO:

STUDIO DI FATTIBILITA'

DATA: Mar. '17

**INTERVENTO DI RIEFFICIENTAMENTO DEGLI
SCARICHI PROFONDI E SUPERFICIALI**

OGGETTO:

COROGRAFIA

TAVOLA:

1

(Dott. Ing. Fabio La Puzza)

(Dott. Ing. Salvatore Sorbello)

(Dott. Ing. Rosa Valente)

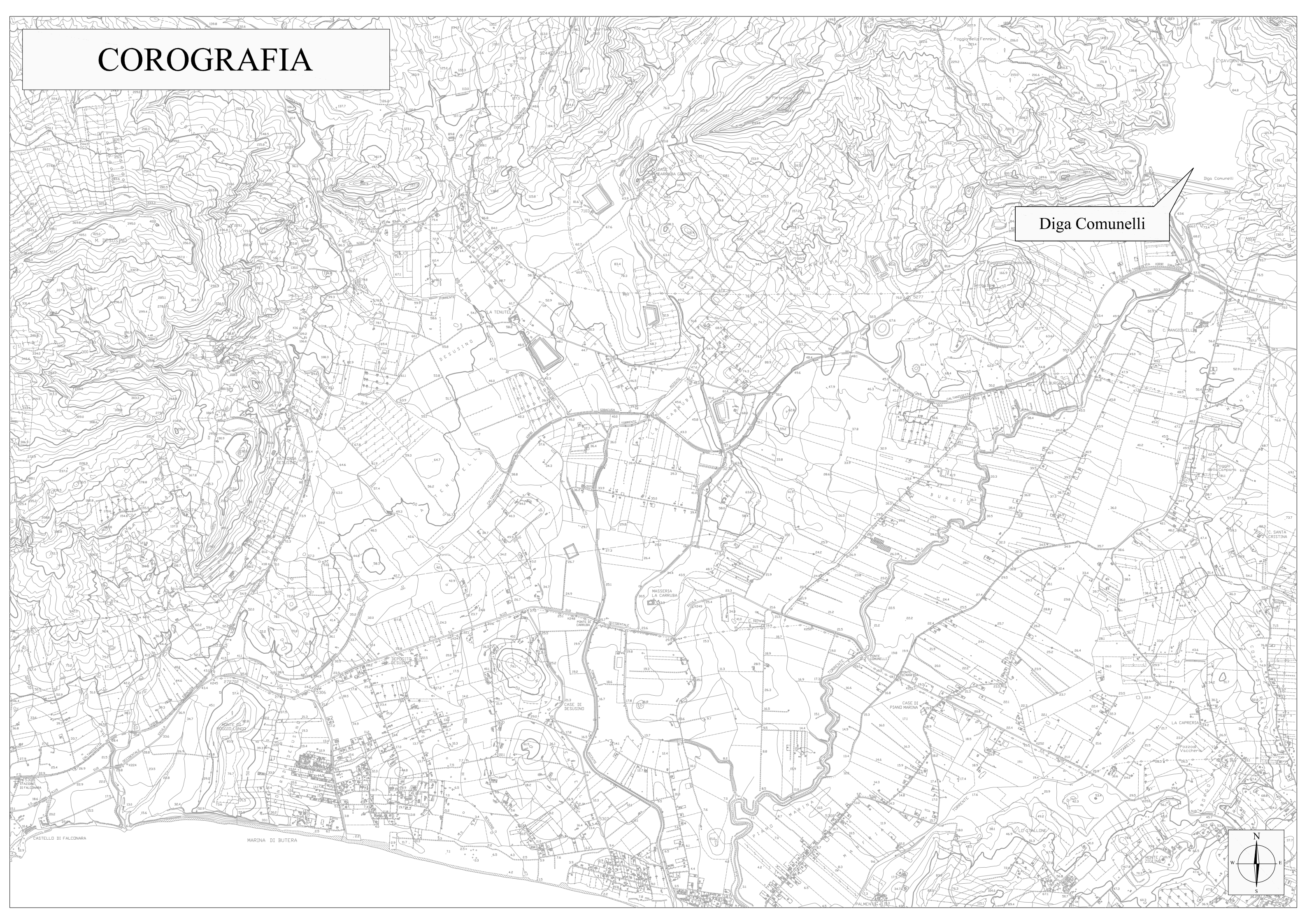
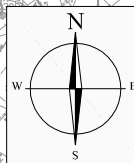
Visto: IL DIRIGENTE DEL SERVIZIO 4:

(Dott. Ing. Francesco Greco)

AUTORIZZAZIONI E NULLA OSTA:

COROGRAFIA

Diga Comunelli



REPUBBLICA ITALIANA



REGIONE SICILIANA

ASSESSORATO REGIONALE DELL'ENERGIA E DEI SERVIZI DI PUBBLICA UTILITA'
DIPARTIMENTO REGIONALE DELL'ACQUA E DEI RIFIUTI
SERVIZIO 4 - GESTIONE INFRASTRUTTURE PER LE ACQUE

DIGA COMUNELLI
TERRITORIO DEL COMUNE DI BUTERA (CL)
N. ARCH. S.N.D. 903

TITOLO:

STUDIO DI FATTIBILITA'

DATA: Mar. '17

**INTERVENTO DI RIEFFICIENTAMENTO DEGLI
SCARICHI PROFONDI E SUPERFICIALI**

OGGETTO:

PLANIMETRIA DEL SERBATOIO

TAVOLA:

2

(Dott. Ing. Fabio La Puzza)

(Dott. Ing. Salvatore Sorbello)

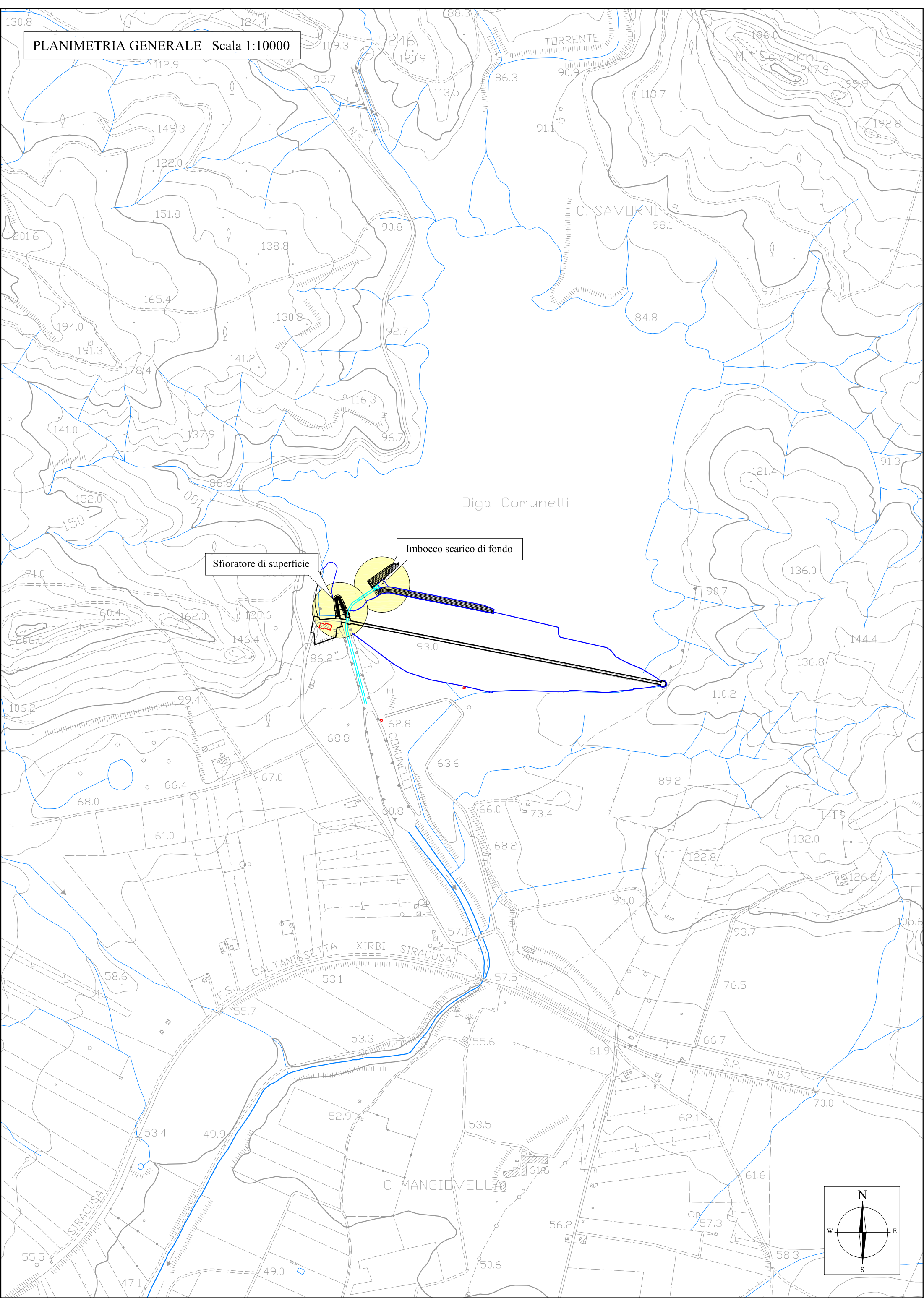
(Dott. Ing. Rosa Valente)

Visto: IL DIRIGENTE DEL SERVIZIO 4:

(Dott. Ing. Francesco Greco)

AUTORIZZAZIONI E NULLA OSTA:

PLANIMETRIA GENERALE Scala 1:10000



REPUBBLICA ITALIANA



REGIONE SICILIANA

ASSESSORATO REGIONALE DELL'ENERGIA E DEI SERVIZI DI PUBBLICA UTILITA'
DIPARTIMENTO REGIONALE DELL'ACQUA E DEI RIFIUTI
SERVIZIO 4 - GESTIONE INFRASTRUTTURE PER LE ACQUE

DIGA COMUNELLI
TERRITORIO DEL COMUNE DI BUTERA (CL)
N. ARCH. S.N.D. 903

TITOLO:

STUDIO DI FATTIBILITA'

DATA: Mar. '17

**INTERVENTO DI RIEFFICIENTAMENTO DEGLI
SCARICHI PROFONDI E SUPERFICIALI**

OGGETTO:

PLANIMETRIA AREE DI INTERVENTO

TAVOLA:

3

(Dott. Ing. Fabio La Puzza)

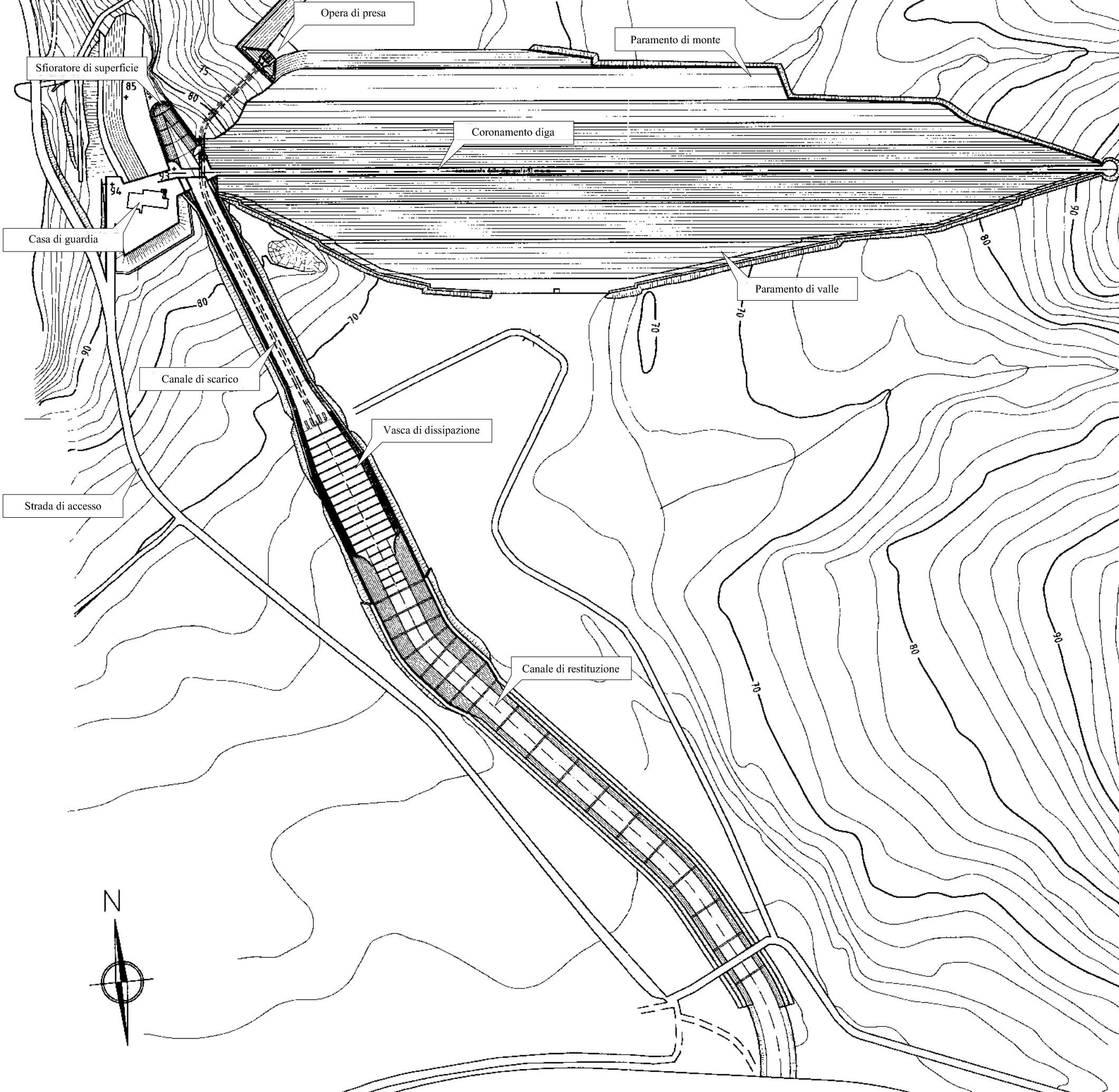
(Dott. Ing. Salvatore Sorbello)

(Dott. Ing. Rosa Valente)

Visto: IL DIRIGENTE DEL SERVIZIO 4:

(Dott. Ing. Francesco Greco)

AUTORIZZAZIONI E NULLA OSTA:



REPUBBLICA ITALIANA



REGIONE SICILIANA

ASSESSORATO REGIONALE DELL'ENERGIA E DEI SERVIZI DI PUBBLICA UTILITA'
DIPARTIMENTO REGIONALE DELL'ACQUA E DEI RIFIUTI
SERVIZIO 4 - GESTIONE INFRASTRUTTURE PER LE ACQUE

DIGA COMUNELLI
TERRITORIO DEL COMUNE DI BUTERA (CL)
N. ARCH. S.N.D. 903

TITOLO:

STUDIO DI FATTIBILITA'

DATA: Mar. '17

**INTERVENTO DI RIEFFICIENTAMENTO DEGLI
SCARICHI PROFONDI E SUPERFICIALI**

OGGETTO:

**MAPPA DELLE ALTIMETRIE RELATIVE AL
RILIEVO BATIMETRICO DEL 2014**

TAVOLA:

4

(Dott. Ing. Fabio La Puzza)

(Dott. Ing. Salvatore Sorbello)

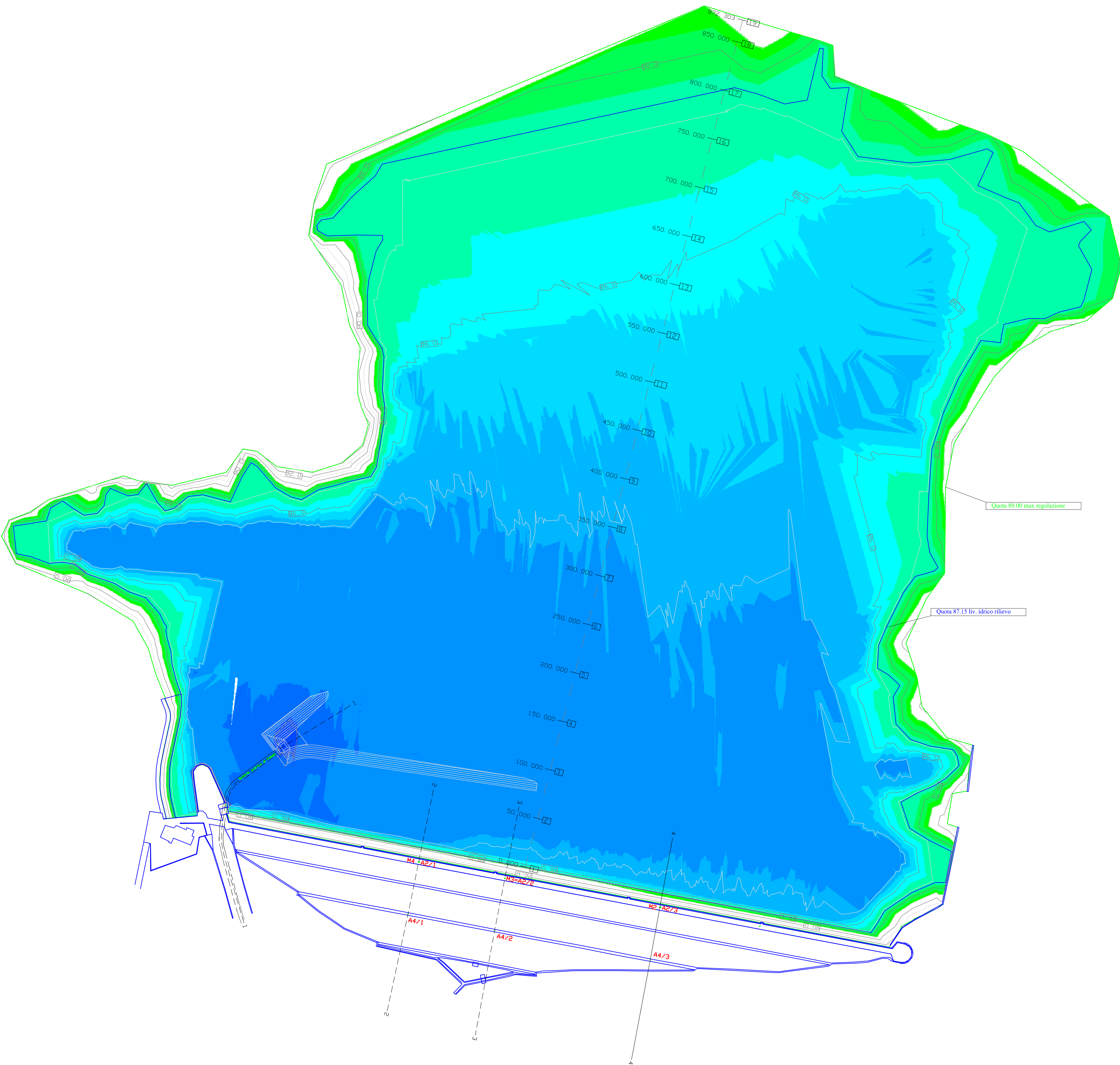
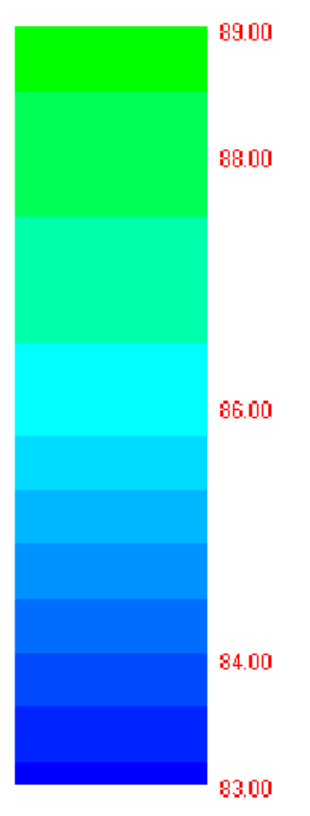
(Dott. Ing. Rosa Valente)

Visto: IL DIRIGENTE DEL SERVIZIO 4:

(Dott. Ing. Francesco Greco)

AUTORIZZAZIONI E NULLA OSTA:

Mappa delle altimetrie



REPUBBLICA ITALIANA



REGIONE SICILIANA

ASSESSORATO REGIONALE DELL'ENERGIA E DEI SERVIZI DI PUBBLICA UTILITA'
DIPARTIMENTO REGIONALE DELL'ACQUA E DEI RIFIUTI
SERVIZIO 4 - GESTIONE INFRASTRUTTURE PER LE ACQUE

DIGA COMUNELLI
TERRITORIO DEL COMUNE DI BUTERA (CL)
N. ARCH. S.N.D. 903

TITOLO:

STUDIO DI FATTIBILITA'

DATA: Mar. '17

**INTERVENTO DI RIEFFICIENTAMENTO DEGLI
SCARICHI PROFONDI E SUPERFICIALI**

OGGETTO:

**PIANTA E SEZIONI SCARICO DI SUPERFICIE
RISAGOMATO**

TAVOLA:

5

(Dott. Ing. Fabio La Puzza)

(Dott. Ing. Salvatore Sorbello)

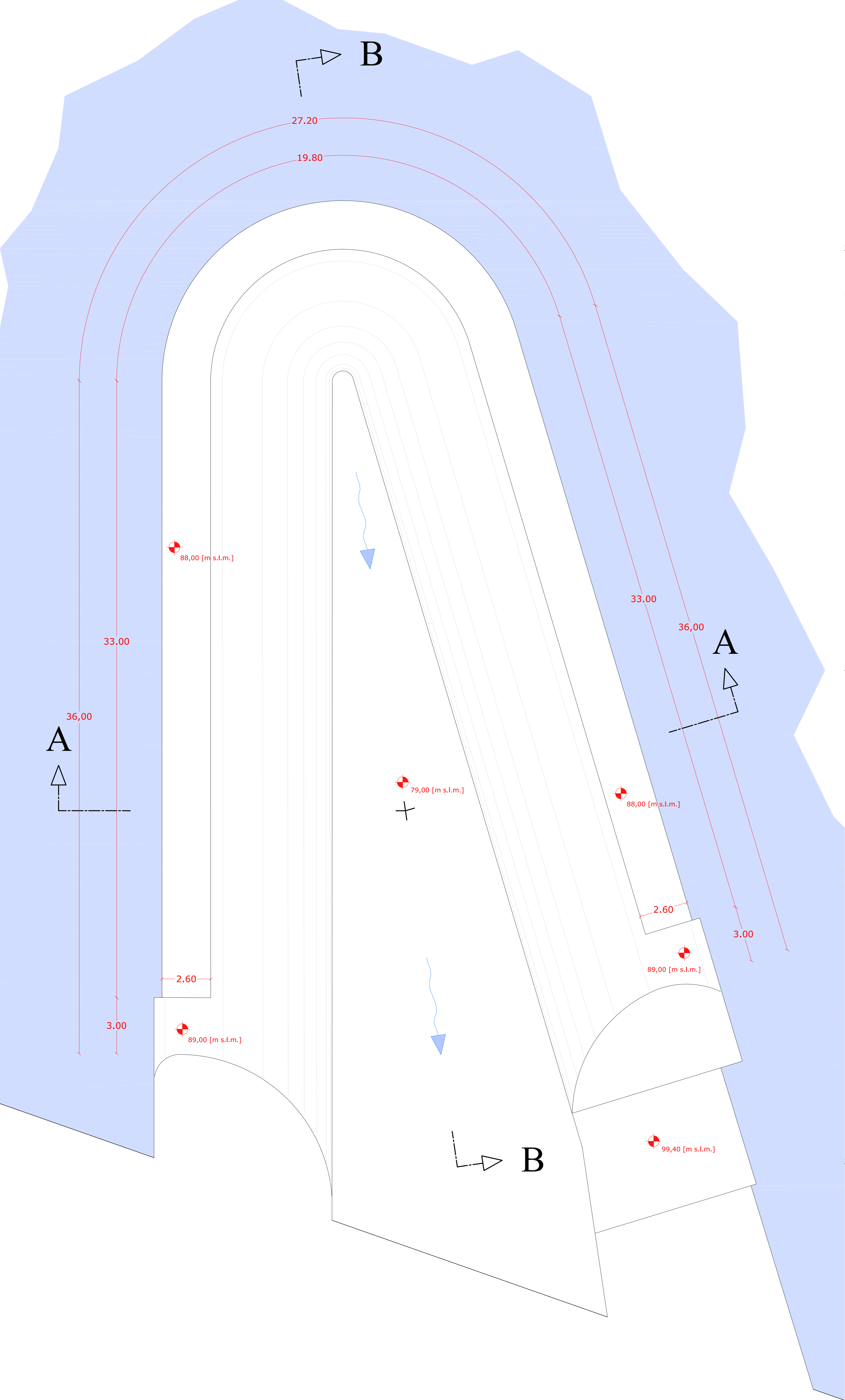
(Dott. Ing. Rosa Valente)

Visto: IL DIRIGENTE DEL SERVIZIO 4:

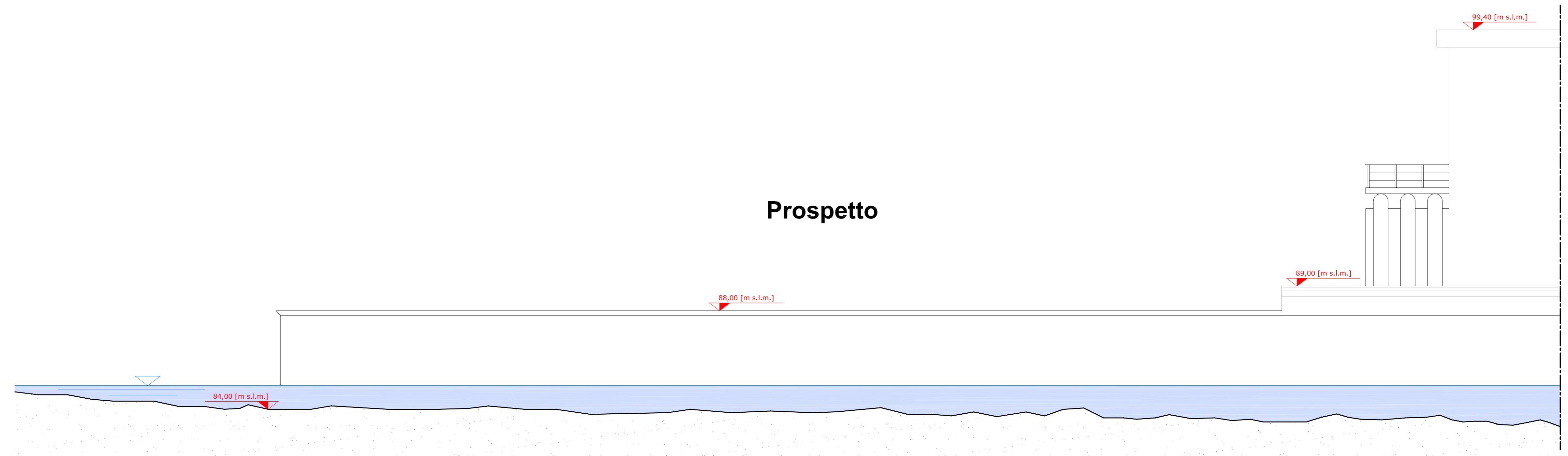
(Dott. Ing. Francesco Greco)

AUTORIZZAZIONI E NULLA OSTA:

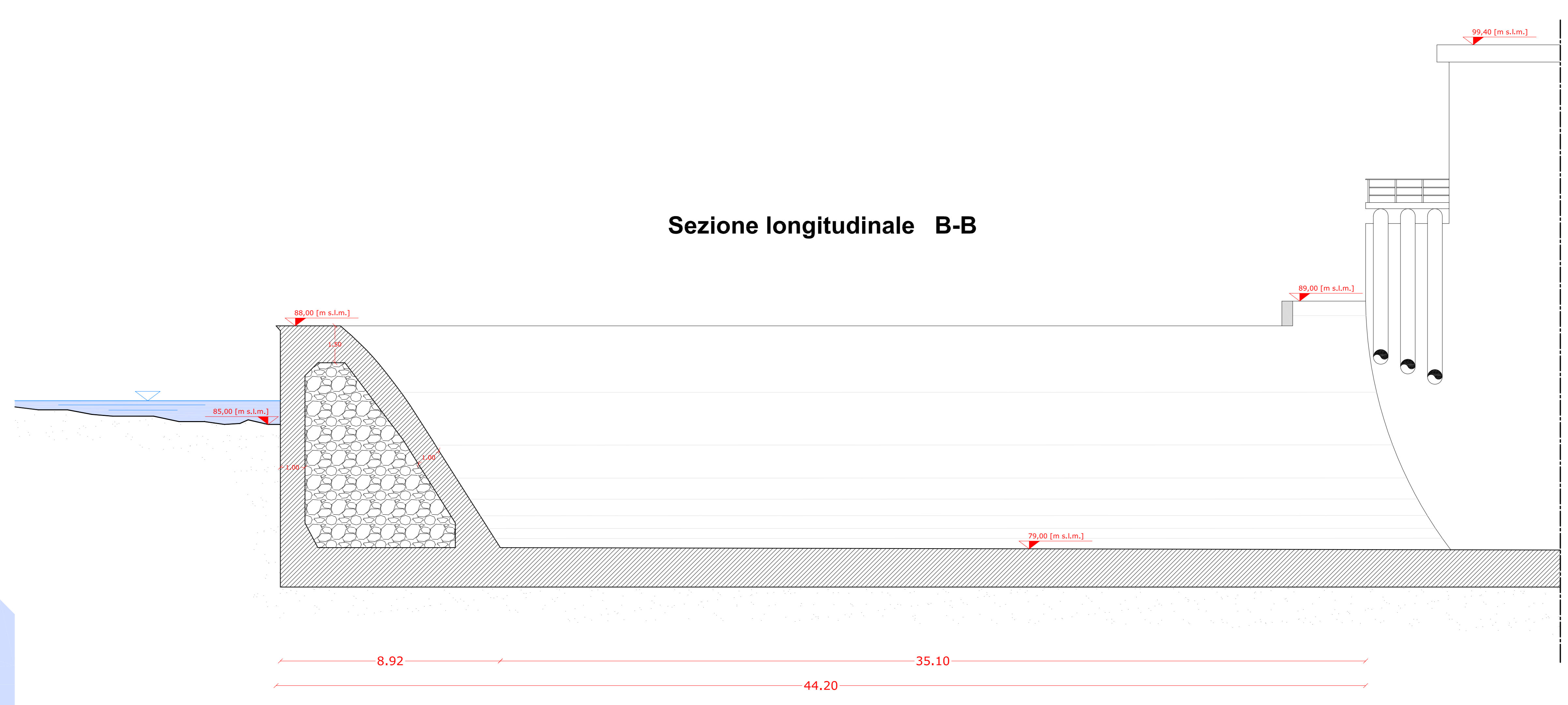
Pianta



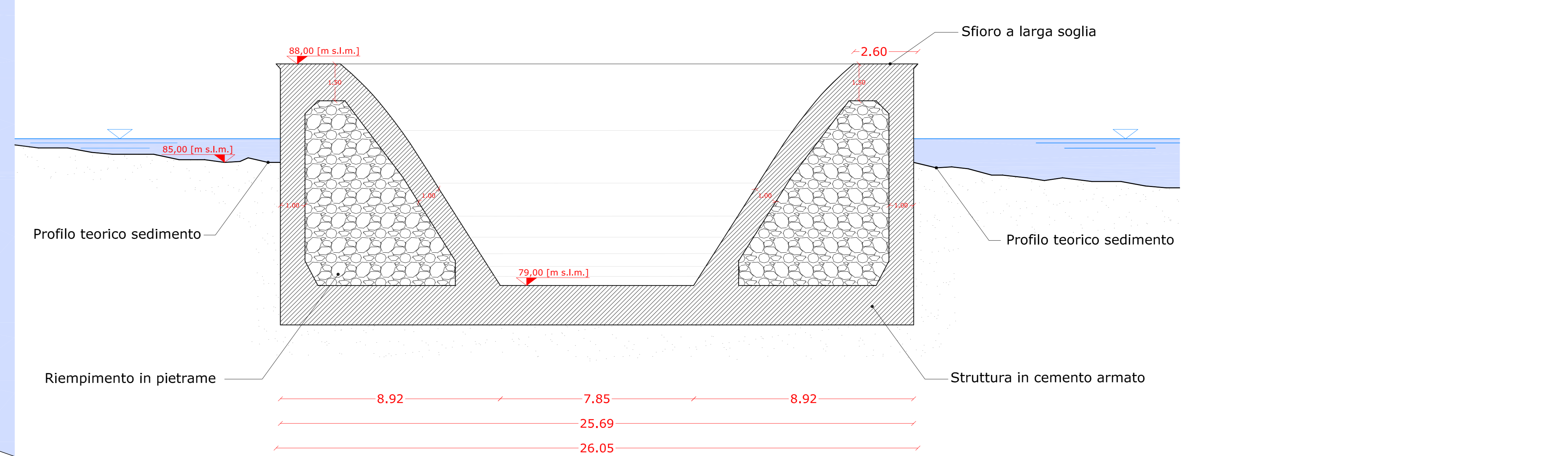
Prospetto



Sezione longitudinale B-B



Sezione trasversale A-A



REPUBBLICA ITALIANA



REGIONE SICILIANA

ASSESSORATO REGIONALE DELL'ENERGIA E DEI SERVIZI DI PUBBLICA UTILITA'
DIPARTIMENTO REGIONALE DELL'ACQUA E DEI RIFIUTI
SERVIZIO 4 - GESTIONE INFRASTRUTTURE PER LE ACQUE

DIGA COMUNELLI
TERRITORIO DEL COMUNE DI BUTERA (CL)
N. ARCH. S.N.D. 903

TITOLO:

STUDIO DI FATTIBILITA'

DATA: Mar. '17

**INTERVENTO DI RIEFFICIENTAMENTO DEGLI
SCARICHI PROFONDI E SUPERFICIALI**

OGGETTO:

**SEZIONE DELL'IMBOCCO E PROFILO DELLO
SCARICO DI FONDO**

TAVOLA:

6

(Dott. Ing. Fabio La Puzza)

(Dott. Ing. Salvatore Sorbello)

(Dott. Ing. Rosa Valente)

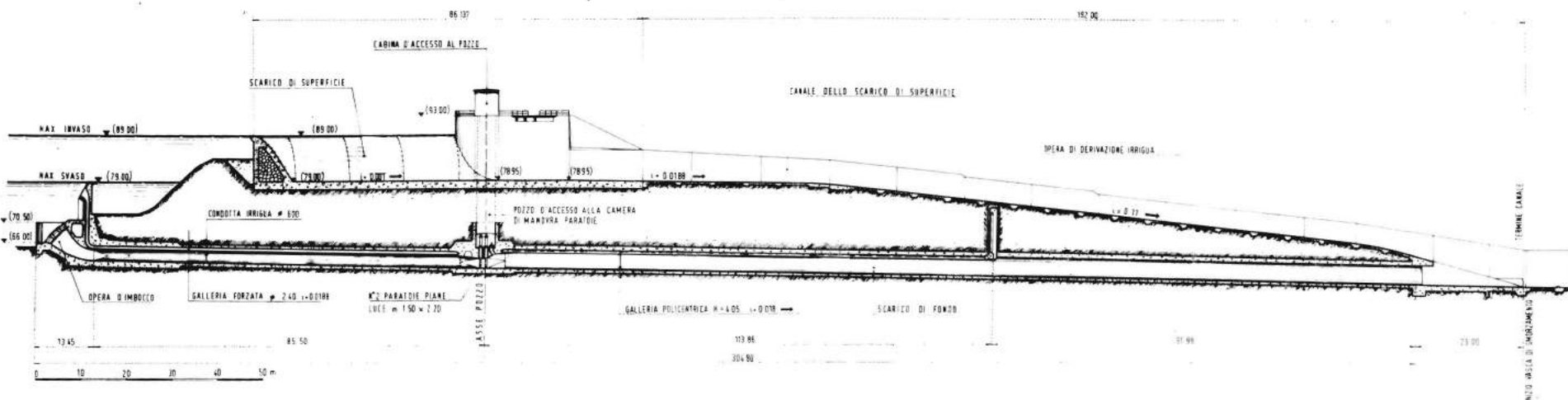
Visto: IL DIRIGENTE DEL SERVIZIO 4:

(Dott. Ing. Francesco Greco)

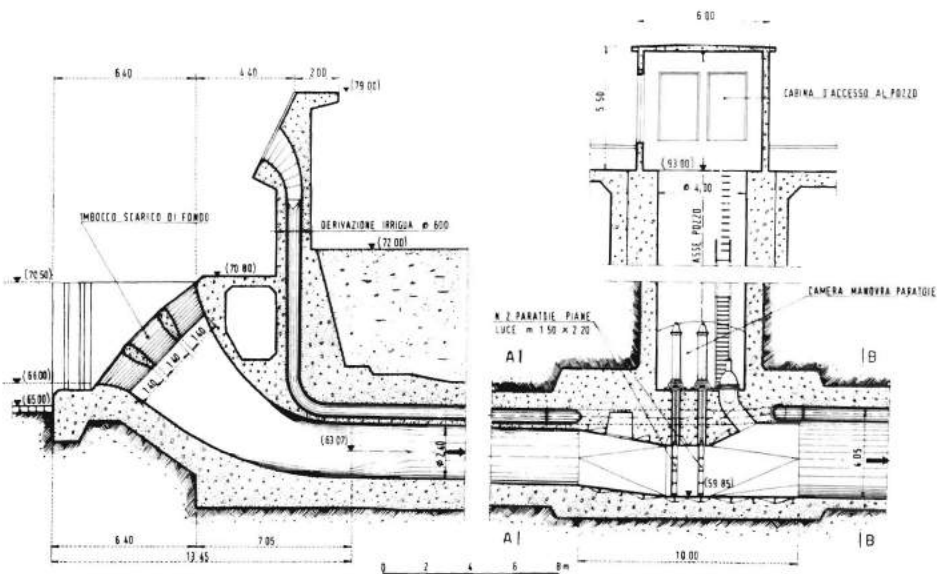
AUTORIZZAZIONI E NULLA OSTA:

DIGA SUL TORRENTE COMUNELLI

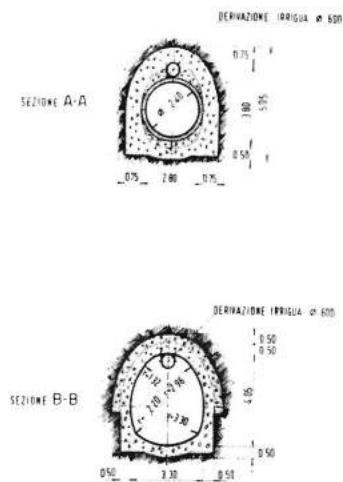
OPERE DI SCARICO - PROFILO



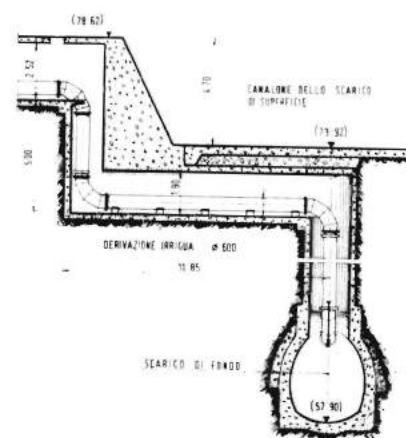
OPERA D'IMBOCCO E POZZO PARATOIE



SEZIONI TIPO GALLERIA



DERIVAZIONE IRRIGUA



REPUBBLICA ITALIANA



REGIONE SICILIANA

ASSESSORATO REGIONALE DELL'ENERGIA E DEI SERVIZI DI PUBBLICA UTILITA'
DIPARTIMENTO REGIONALE DELL'ACQUA E DEI RIFIUTI
SERVIZIO 4 - GESTIONE INFRASTRUTTURE PER LE ACQUE

DIGA COMUNELLI
TERRITORIO DEL COMUNE DI BUTERA (CL)
N. ARCH. S.N.D. 903

TITOLO:

STUDIO DI FATTIBILITA'

DATA: Mar. '17

**INTERVENTO DI RIEFFICIENTAMENTO DEGLI
SCARICHI PROFONDI E SUPERFICIALI**

OGGETTO:

**PLANIMETRIA DELLE OPERE DI SCARICO CON
INDICAZIONE DELL'AREA DI RIMOZIONE DEL
SEDIMENTO**

TAVOLA:

7

(Dott. Ing. Fabio La Puzza)

(Dott. Ing. Salvatore Sorbello)

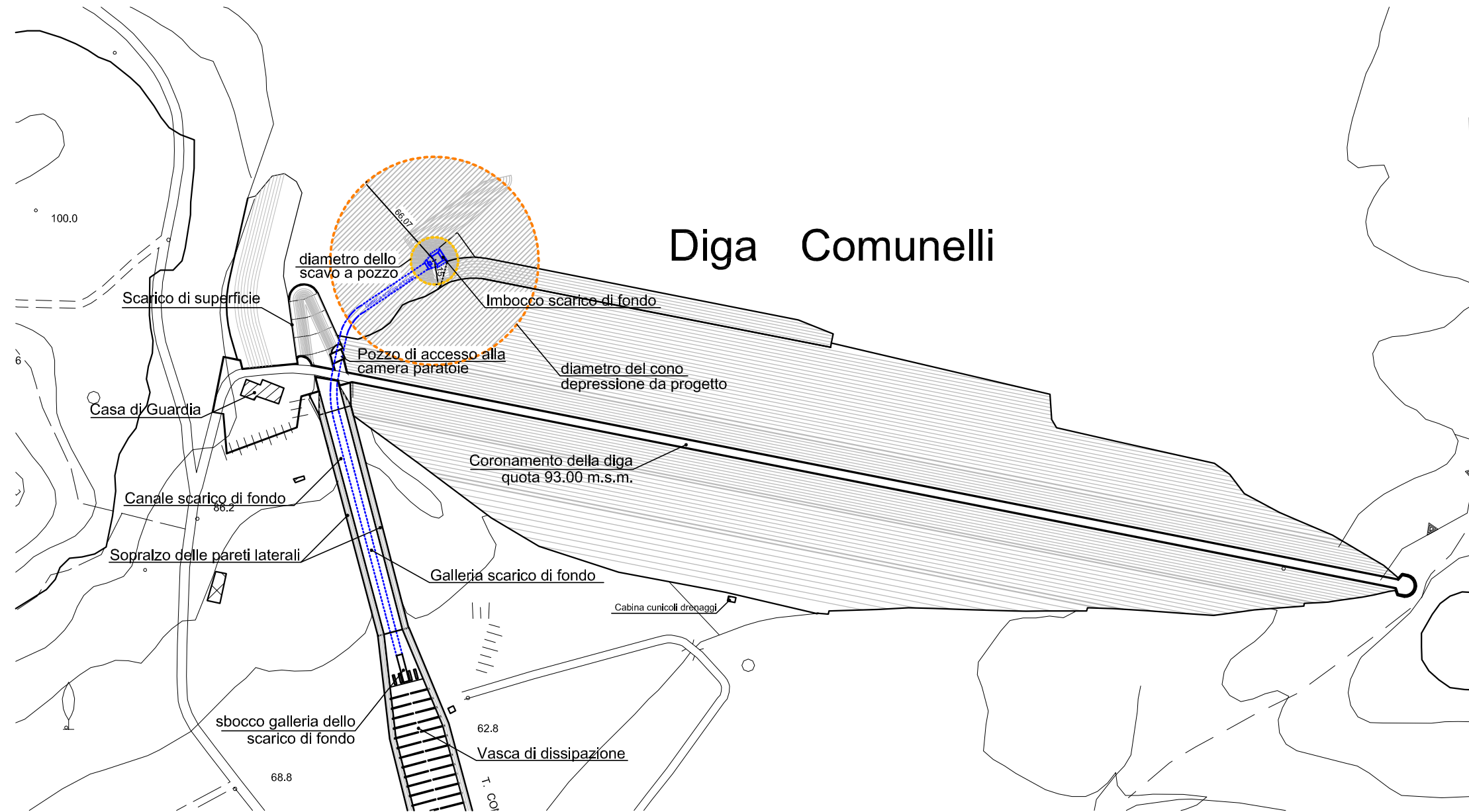
(Dott. Ing. Rosa Valente)

Visto: IL DIRIGENTE DEL SERVIZIO 4:

(Dott. Ing. Francesco Greco)

AUTORIZZAZIONI E NULLA OSTA:

Diga Comunelli



REPUBBLICA ITALIANA



REGIONE SICILIANA

ASSESSORATO REGIONALE DELL'ENERGIA E DEI SERVIZI DI PUBBLICA UTILITA'
DIPARTIMENTO REGIONALE DELL'ACQUA E DEI RIFIUTI
SERVIZIO 4 - GESTIONE INFRASTRUTTURE PER LE ACQUE

DIGA COMUNELLI
TERRITORIO DEL COMUNE DI BUTERA (CL)
N. ARCH. S.N.D. 903

TITOLO:

STUDIO DI FATTIBILITA'

DATA: Mar. '17

**INTERVENTO DI RIEFFICIENTAMENTO DEGLI
SCARICHI PROFONDI E SUPERFICIALI**

OGGETTO:

**SEZIONE DELL'IMBOCCO SCARICO DI FONDO CON
INDICAZIONE DELLE PARATIE DI PALI E DEL
SEDIMENTO DA RIMUOVERE**

TAVOLA:

8

(Dott. Ing. Fabio La Puzza)

(Dott. Ing. Salvatore Sorbello)

(Dott. Ing. Rosa Valente)

Visto: IL DIRIGENTE DEL SERVIZIO 4:

(Dott. Ing. Francesco Greco)

AUTORIZZAZIONI E NULLA OSTA:

